

**T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LAMİNE AHŞAP YAPI ELEMANLARININ FRP KOMPOZİT VE ÇELİK  
HALATLAR KULLANILARAK GÜÇLENDİRİLMESİ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Faruk ÖZDEMİR**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Müslüm Murat MARAŞ**

**ARALIK 2023**

**T.C  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LAMİNE AHŞAP YAPI ELEMANLARININ FRP KOMPOZİT VE ÇELİK  
HALATLAR KULLANILARAK GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Faruk ÖZDEMİR  
(36203621059)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Müslüm Murat MARAŞ**

**ARALIK 2023**



## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgmeden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Müslüm Murat MARAŞ'a,

Tez çalışması sürecinin deneysel aşamasında yanımda olan, etkili bir çalışma ortamı elde ettiğim İnş. Müh. Hasan Barsi YURTSEVEN'e,

Tez çalışması sürecinin desteğini benden esirgemeyen Yük. İnş. Müh. Erkay KUTLUSOY'a,

Tezin uygulama aşamasında vermiş oldukları maddi ve manevi destekten dolayı İnönü Üniversitesi BAP birimine

teşekkür ederim.



*Eşime*

## ONUR SÖZÜ

Doktora veya yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Lamine Ahşap Yapı Elemanlarının FRP Kompozit Ve Çelik Halatlar Kullanılarak Güçlendirilmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Mehmet Faruk ÖZDEMİR



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                               |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ.....                                                                        | i    |
| ONUR SÖZÜ .....                                                                               | iii  |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                              | iv   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                                        | v    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                                         | vi   |
| SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....                                                                | vii  |
| ÖZET .....                                                                                    | viii |
| ABSTRACT .....                                                                                | ix   |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                | 1    |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ.....                                                                       | 3    |
| 2.1 Yapısal Ahşap .....                                                                       | 3    |
| 2.1.1 Ahşabın sınıflandırılması.....                                                          | 4    |
| 2.2 Yapısal Lamine Ahşap .....                                                                | 4    |
| 2.2.1 Yapısal lamine ahşaplarda kullanılan tutkal türleri .....                               | 6    |
| 2.2.2 Yapısal lamine ahşapın avantajları .....                                                | 6    |
| 2.2.3 Lamine ahşabın üretim yöntemi .....                                                     | 8    |
| 2.2.4 Yapısal lamine ahşabın uygulamaları.....                                                | 11   |
| 2.3 FRP .....                                                                                 | 13   |
| 2.4 Yapısal Ahşapta FRP .....                                                                 | 14   |
| 2.5 Yapısal Ahşapta Çelik Halat.....                                                          | 15   |
| 2.6 Yapısal Ahşap Güçlendirme .....                                                           | 16   |
| 3. MATERYAL ve METOD .....                                                                    | 17   |
| 3.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler .....                                                     | 17   |
| 3.1.1 Masif ahşap plaka .....                                                                 | 17   |
| 3.1.2 Tutkal.....                                                                             | 17   |
| 3.1.3 CFRP .....                                                                              | 17   |
| 3.1.4 Çelik halat.....                                                                        | 18   |
| 3.2 Deneysel Çalışma .....                                                                    | 18   |
| 3.2.1 Deney düzeneği .....                                                                    | 18   |
| 3.2.1.1 Normal lamine ahşap kirişler.....                                                     | 19   |
| 3.2.1.2 CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişler.....                                    | 19   |
| 3.2.2 Çelik halat montajları .....                                                            | 20   |
| 3.2.3 Deney düzeneği .....                                                                    | 22   |
| 3.2.3.1 Deplasman ölçüm noktaları.....                                                        | 23   |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULAR ve TARTIŞMA.....                                                        | 24   |
| 4.1 Normal Lamine Kiriş .....                                                                 | 24   |
| 4.1.1 Çelik halat güçlendirilmiş normal lamine kirişlerin dayanımı .....                      | 24   |
| 4.1.1.1 Çelik halat varyasyonlarının eğilme dayanımına etkisi.....                            | 26   |
| 4.1.1.2 Çelik halatla güçlendirilmiş ahşap kirişlerin hasar biçimi.....                       | 24   |
| 4.2 CFRP’li Lamine Kiriş.....                                                                 | 26   |
| 4.2.1 Çelik halat güçlendirilmiş CFRP’li kirişlerin dayanımı .....                            | 27   |
| 4.2.1.1 CFRP’li lamine kirişlerin çelik halat varyasyonlarının eğilme dayanımına etkisi ..... | 29   |
| 4.2.1.2 FRP’li lamine kirişlerin çelik halat güçlendirilmesinin hasar biçimi .....            | 27   |
| 4.3 Tokluk.....                                                                               | 29   |
| 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....                                                                 | 32   |
| Kaynaklar .....                                                                               | 34   |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                | 39   |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 : Ahşap sınıflarının mekanik özellikleri.....                               | 4  |
| Çizelge 2.2 : Lifli polimer (LP) ve çelik malzeme özelliklerinin karşılaştırılması..... | 15 |
| Çizelge 3.1 : Tutkalın teknik özellikleri.....                                          | 17 |
| Çizelge 3.2 : Karbon Fiber Kumaş (CFRP) mekanik özellikleri .....                       | 17 |
| Çizelge 3.3 : Çelik halatın mekanik ve fiziksel özellikleri .....                       | 18 |





## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : Kereste örneği.....                                                                                  | 4  |
| Şekil 2.2 : Lamine ahşabın yangına karşı davranış biçimi.....                                                    | 7  |
| Şekil 2.3 : En birleştirme çeşitleri .....                                                                       | 9  |
| Şekil 2.4 : Boy birleştirme çeşitleri.....                                                                       | 9  |
| Şekil 2.5 : Tutkallama işlem şeması (Sağlam, 2009).....                                                          | 10 |
| Şekil 2.6 : Örnek lamine ahşap katman düzenleri.....                                                             | 11 |
| Şekil 2.7 : Amerika'nın Araba Müzesi, Tacoma.....                                                                | 12 |
| Şekil 2.8 : Taşıyıcı iskelet sistemi lamine ahşap olan Mjos Tower, Norveç .....                                  | 12 |
| Şekil 2.9 : Richmond Olympic Oval tutkallanmış lamine kereste uygulaması<br>(Centaurproducts, 2015).....         | 13 |
| Şekil 2.10 : Karbon lifler.....                                                                                  | 14 |
| Şekil 3.1 : Ahşap kiriş elemanların TS EN 408+A1 'e göre eğilme altında yükleme sistemi<br>.....                 | 18 |
| Şekil 3.2 : Lamine ahşap kiriş dört noktalı yükleme düzeneği ölçüleri (mm).....                                  | 19 |
| Şekil 3.3 : Normal lamine ahşap kiriş elemanı .....                                                              | 19 |
| Şekil 3.4 : CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kiriş elemanı.....                                              | 20 |
| Şekil 3.5 : Çelik halatın ahşap yüzeyine sabitlenmesi .....                                                      | 20 |
| Şekil 3.6 : Halat sabitleme klipsi ve halat germe anahtarı .....                                                 | 21 |
| Şekil 3.7 : 1 Numaralı çelik halat güçlendirme düzeneği (mm) .....                                               | 21 |
| Şekil 3.8 : 2 Numaralı çelik halat güçlendirme düzeneği (mm) .....                                               | 22 |
| Şekil 3.9 : Numaralı çelik halat güçlendirme düzeneği (mm) .....                                                 | 22 |
| Şekil 3.10 : TS EN 408+A1 standardına göre dört noktalı yükleme deney düzeneği.....                              | 23 |
| Şekil 3.11 : Lamine ahşap kiriş deney düzeneği ölçüm noktaları.....                                              | 23 |
| Şekil 4.1 : Çelik halat güçlendirme yöntemlerinin normal lamine ahşap kirişlere etkisi                           | 27 |
| Şekil 4.2 : Referans (0N) lamine ahşap kirişin hasar biçimi.....                                                 | 24 |
| Şekil 4.3 : 1 Numaralı (1N) çelik halat ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin hasar biçimi<br>.....            | 25 |
| Şekil 4.4 : 2 Numaralı çelik halat ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin hasar biçimi.....                     | 25 |
| Şekil 4.5 : 3 Numaralı çelik halat ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin hasar biçimi.....                     | 26 |
| Şekil 4.6 : Çelik halat güçlendirme yöntemlerinin CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap<br>kirişlere etkisi ..... | 30 |
| Şekil 4.7 : CFRP ile güçlendirilmiş referans lamine ahşap kirişin (0F) hasar biçimi .....                        | 28 |
| Şekil 4.8 : 1 Numaralı çelik halat ve CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin (1F) hasar<br>biçimi.....     | 28 |
| Şekil 4.9 : 2 Numaralı çelik halat ve CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin (2F) hasar<br>biçimi.....     | 29 |
| Şekil 4.10 : 3 Numaralı çelik halat ve CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin (3F)<br>hasar biçimi .....   | 29 |
| Şekil 4.11 : Tüm numunelerin yük-deplasman değişimi .....                                                        | 31 |

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

|               |                                                                                          |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FRP</b>    | : Fiber takviyeli polimer                                                                |
| <b>CFRP</b>   | : Karbon fiber takviyeli poimer                                                          |
| <b>LP</b>     | : Lifli polimer                                                                          |
| <b>GLULAM</b> | : Tutkallanmış lamine ahşap                                                              |
| <b>LVDT</b>   | : Doğrusal değişken diferansiyel transformatör                                           |
| <b>0N</b>     | : Referans normal lamine ahşap kiriş                                                     |
| <b>1N</b>     | : 1 numaralı çelik halat güçlendirme yöntemi uygulanan normal lamine ahşap kiriş         |
| <b>2N</b>     | : 2 numaralı çelik halat güçlendirme yöntemi uygulanan normal lamine ahşap kiriş         |
| <b>3N</b>     | : 3 numaralı çelik halat güçlendirme yöntemi uygulanan normal lamine ahşap kiriş         |
| <b>0F</b>     | : Referans CFRP takviyeli lamine ahşap kiriş                                             |
| <b>1F</b>     | : 1 numaralı çelik halat güçlendirme yöntemi uygulanan CFRP takviyeli lamine ahşap kiriş |
| <b>2F</b>     | : 2 numaralı çelik halat güçlendirme yöntemi uygulanan CFRP takviyeli lamine ahşap kiriş |
| <b>3F</b>     | : 3 numaralı çelik halat güçlendirme yöntemi uygulanan CFRP takviyeli lamine ahşap kiriş |

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### LAMİNE AHŞAP YAPI ELEMANLARININ FRP KOMPOZİT VE ÇELİK HALATLAR KULLANILARAK GÜÇLENDİRİLMESİ

Mehmet Faruk ÖZDEMİR

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

39+ix sayfa

2023

Danışman: Doç. Dr. Müslüm Murat MARAŞ

Bu çalışmada lamine ahşap kirişlerde FRP ve çelik halatlı kompozitler kullanılarak lamine ahşap kirişlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular sayesinde yapısal lamine ahşap malzemeli geniş açıklıklı sistemlerde gerekli olan dayanım koşulları için kiriş kesit alanının azaltılması amaçlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında geniş açıklıkların geçilmesinde kullanılan betonarme ve çelik elemanların yerine çevre dostu ve sürdürülebilir bir yapı elemanı olan ahşabın kullanımının daha ekonomik ve güvenli hale getirileceği öngörülmektedir. Bu sayede daha küçük kesitli lamine ahşap kirişlerle istenilen mukavemet özelliklerinin sağlanması mümkün olacaktır. Ayrıca artan dünya nüfusuna bağlı olarak ahşap malzemeye olan ihtiyaç da artmaktadır. Bu çalışma ile aynı işi daha küçük boyutlarda yapabilen güçlendirilmiş ahşap malzemeler kullanılarak ahşap ihtiyacı azaltılabilir veya mekanik direnci daha düşük ve maliyeti düşük yapı elemanları kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** FRP, Lamine Ahşap, Güçlendirme, Kiriş

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **STRENGTHENING LAMINATED WOODEN CONSTRUCTION ELEMENTS USING FRP COMPOSITE AND STEEL ROPES**

Mehmet Faruk ÖZDEMİR

Inonu University  
Graduate School of Nature and Applied Sciences  
Department of Civil Engineer

39+ix pages

2023

Supervisor: Assoc. Prof. Müslüm Murat MARAŞ

In this study, it was aimed to improve the mechanical properties of laminated wooden beams by using FRP and steel rope composites in laminated wooden beams. Thanks to the findings obtained, it is aimed to reduce the beam cross-sectional area for the required strength conditions in wide-span systems with structural laminated wood materials. Within the scope of this study, it is envisaged that the use of wood, which is an environmentally friendly and sustainable building element, will be made more economical and safer instead of reinforced concrete and steel elements used in crossing wide spans. In this way, it will be possible to achieve the desired strength properties with smaller cross-section laminated wooden beams. In addition, the need for wooden materials is increasing due to the increasing world population. With this study, the need for wood can be reduced by using reinforced wooden materials that can do the same job in smaller sizes, or building elements with lower mechanical resistance and lower cost can be used.

**Keywords:** FRP, Laminated Wood, Reinforcement, Beam

## 1. GİRİŞ

Günden güne endüstriyelleyen dünyada insanlar barınma gibi temel ihtiyaçlardan dolayı yapısal elemanların üretiminde kolay ve hızlı uygulanabilir olan betonarme yapı sistemlerini seçmektedir. Betonarme yapılar bu ihtiyacı karşılamaında “Sudan sonra insanlığın en fazla kullandığı malzeme” olarak tabir edilen betona bakıldığında ne kadar fazla kullanıldığı anlaşılmaktadır.

İnsanlık ilk zamanlarından beri bulunduğı doğal malzemeleri kullanarak gerekli olan yapısal ihtiyaçlarını karşılamaasında ahşap sıklıkla tercih edilen bir yapı malzemesi olmuştur (Ramage 2017).

Yapı elemanlarının gerekli kesit boyutlarını ahşap malzeme ile elde edilmek istenildiğinde açığa çıkan kesit boyutlarını temin etmek kolay olmayacaktır. Çünkü ağaç anizotrop bir malzemedir. Bu esnada ise nispeten yeni bir yöntem olan laminasyon işlemi devreye girmektedir. Laminasyon işlemi, parça ahşapların birleştirilmesi ile istenilen her türlü en kesit alanları elde edilebilmektedir. Fabrikasyon olarak üretimi sağlanacak bu yöntem sayesinde prefabrik bir imalat yapılmaktadır.

Ahşap anizotropik bir malzeme olduğundan istenilen kesiti elde etmek oldukça zordur (Akter 2020 ve Kasal 2003). Yenilenebilir bir malzeme olan ahşap, ormanda ağaç kesildikten sonra yapısal olarak kullanılabilmesi için birtakım işlemlere tabi tutulur (Asdrubali 2015). Bu işlemler, ahşabın yapıda kullanılacağı ve hangi amaca hizmet edeceği, kullanıldığı yere göre değişiklik göstermektedir (Dias 2016).

Ahşabın yoğunluk açısından ele alındığında beton ve yapı çeliğine göre oldukça düşük, taşıma kapasitesi ise daha yüksektir (Dias 2016 ve Yu 2021). Yoğunluk ve taşıma kapasitesi arasındaki bu ilişki, ahşap yapı elemanlarının kullanımında farklı avantajlar sağlamaktadır (Valdes 2020). En önemli faktörlerden biri bina kütlesi ile doğrudan ilişkili olan deprem etkisidir (Domingues-Santos 2019 ve Pei 2016). Ahşap yapıların ölü yükünün betonarme ve çelik yapılara göre düşük olması deprem etkisi altında önemli avantajlar sağlamaktadır (Asiz 2009). Yoğunluğun bir diğer etkisi ise malzemenin şekillenmesine olumlu etki yapmasıdır. Bu avantajlar göz önüne alındığında ahşabın yapı elemanı olarak kullanılması mimari ve mühendislik açısından oldukça caziptir (Herzog 2012).

İnsanlık en eski çağlardan beri ahşap yapı malzemesini her alanda kullanmıştır (Maier 2022 ve Ahmed 2020). Ağaç kesildikten sonra dallarından ve budaklarından ayrılarak kütük haline getirilir (Todoroki 2020). Elde edilen kütükler yapısal olarak kullanılabilmesine rağmen insanlığın gelişmesiyle birlikte kütükler kesildikten sonra kurutularak veya kurutulmayarak masif ahşaplar elde edilir (Huang 2003). Ahşap, estetik ve işlevsellik açısından yapılar inşa etmemizi sağlamıştır.

Lamine ahşap malzemeler dünya çapında köprü inşaatı, geniş açıklıklı sistemler gibi yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Nurdiah 2016). Laminasyon işleminde kullanılan ahşap levhaların homojen bir yapıya sahip olması ve daha yüksek mukavemet özellikleri göstermesi gerekmektedir. Ahşap taşıyıcı sistem elemanları istenilen ölçü ve açıklıklarda üretilmektedir (Kurtoğlu 1979). Yangın dayanımı, masif ahşap yapı elemanlarına göre oldukça yüksektir (Schmid 2018). Ahşap sistemlerde taşıyıcı elemanların hafif olması üretimde ve montajında büyük kolaylık sağlamaktadır. (Falk 2005). Ahşap yapılar sökülüp tekrar kullanılabilmekte ve sistem içindeki parçaları değiştirilebilmektedir (Crowther 1999).

Yapı elemanlarının güçlendirilmesi için birçok farklı çalışma uygulanmaktadır. Ahşap elemanlarda geniş açıklıkları geçmek için kullanılan gergili çelik halat sistemlerinin yanı sıra betonarme ve yığma işlerde sıklıkla kullanılan FRP malzemenin de kullanılması sonucunda yüksek mukavemetli ve geniş açıklıklı ahşap kiriş elemanların üretilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, lamine ahşap kiriş elemanında FRP kompozitlerle ve çelik halatlarla hibrit bir güçlendirme yöntemi uygulanarak ahşap kirişlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hem de etki edecek kesme ve moment değerleri azaltılarak daha küçük kesitlerde daha yüksek açıklığa sahip bir kiriş elemanı elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede geniş açıklıklı ahşap yapı elemanları için gerekli olan kesit alanlarının azaltılarak ara katmanlara uygulanan FRP kumaşlarla estetiği bozmadan yenilikçi güçlendirme yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca artan dünya nüfusuna bağlı olarak ahşap malzemeye olan ihtiyaç da artmaktadır. Bu çalışma ile aynı işi daha küçük boyutlarda yapabilen güçlendirilmiş ahşap malzemeler kullanılarak ahşap ihtiyacı azaltılması hedeflenmiş ve yüksek mukavemette sahip yapı elemanlarının üretilmesi amaçlanmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

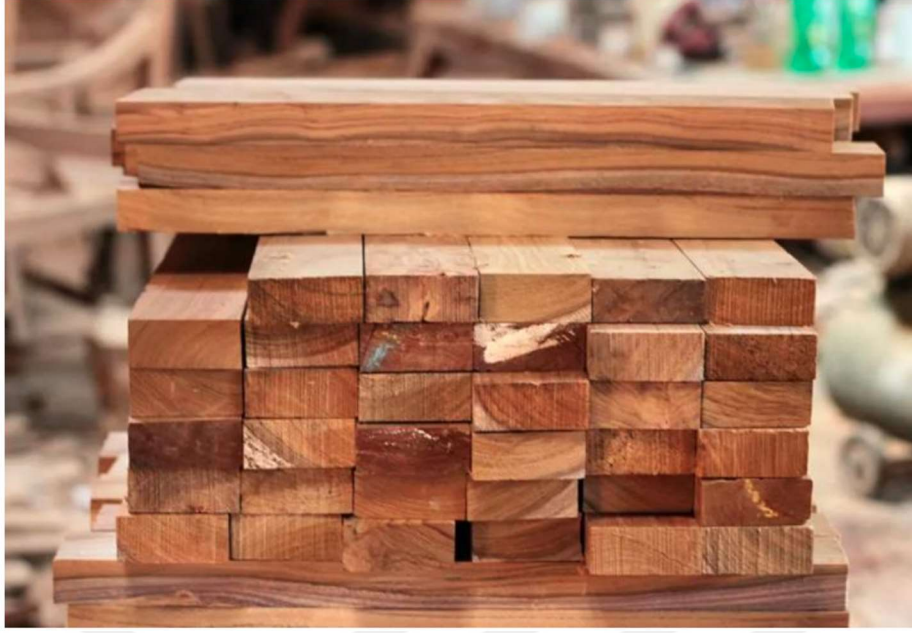
### 2.1 Yapısal Ahşap

Bugün inşaat sektörü, yüksek oranda doğal kaynak ve enerji tüketimine ihtiyaç duyarak, birçok zararlı madde içeren büyük miktarda malzeme kullanarak ve bu zararlı maddeleri yapıların bünyesinde depolayarak çeşitli çevre sorunlarına yol açmaktadır (Merl, 2005).

Ahşabı bir yapı malzemesi olarak ele aldığımızda yapının her bölümünde kullanılabileceği görülmektedir. Çatı malzemesinden kirişe, cepheden merdivenlere kadar kullanım alanı bulan ahşap, kesim işleminden kullanım anına gelene kadar birtakım işlemlere tabii tutulmaktadır. Bu işlemler, ahşabın yapının neresinde kullanılacağı ve hangi amaca hizmet edeceğine göre değişiklik göstermektedir. Ahşaba yapılacak bu işlemler mühendislik yöntemleri ile kontrollü olarak gerçekleştirilmelidir (Falk, 2009).

Ahşap yoğunluk açısından ele alındığında beton ve yapısal çeliğe oranla oldukça düşük olmasına nazaran taşıma gücü ise daha yüksektir. Yoğunluk ve taşıma gücü arasındaki bu ilişki ahşabı yapı elemanı kullanımında farklı avantajlar sağlamaktadır. En önemli etkenlerden birisi, bina kütlesi ile doğrudan ilişkili olan deprem etkisidir. Ahşap yapıların betonarme ve çelik yapılar olarak kıyasla ölü yükünün az oluşu deprem etkisinde avantaj sağlamaktadır. Yoğunluğun bir diğer etkisi ise malzemenin şekil verilebilmesinde olumlu yönde etki göstermesidir. Yapısal eleman olarak ahşabın kullanımı bu avantajlar göz önüne alındığında mimari ve mühendislik açısından çok cazip olmaktadır (Herzog ve diğer., 2012).

İnsanlık en eski çağlardan beri ahşap yapı malzemesini her alanda kullanılmıştır. Ahşabın üretimi için harcanan enerji miktarı diğer yapısal ürünler olan beton, çelik, tuğlaya vb. kıyasla oldukça düşük olmakla beraber üretimi de kolaydır (Bilici, 2006). Ağacın kesilmesinin ardından dal ve budaklarından ayrılarak tomruk haline getirilir. Tomruk, yapısal olarak kullanılabilmektedir ancak insanlığın gelişmesi ile beraber tomruklar biçildikten sonra kurutularak veya kurutulmadan masif ahşaplar elde edilmektedir (Şekil 2.1). Tomruk bu forma gelmesi ile beraber ahşabın taşıyıcılık özelliğinin daha verimli kullanılabilmesi ahşap ile estetik ve fonksiyonel açıdan yapılar inşa etmemizi sağlamıştır (Ramage ve diğer., 2017).



**Şekil 2.1 : Kereste örneği**

### **2.1.1 Ahşabın sınıflandırılması**

Yapısal olarak kullanılan ahşaplarda ağaç türü olarak iğne yapraklılarda sedir, çam, selvi ve köknar gibi, geniş yapraklılarda ise ceviz, kayın, meşe ve kavak gibi ağaç türleri kullanılmaktadır. Her türden ağacın kendine göre farklı özellikleri vardır. Tüm türlerde ortak olarak; nem içeriği, budak durumu, lif ve kusurların miktarı gibi parametrelerin varlığı nedeniyle mekanik özellikler açısından anizotrop bir davranış sergilemektedir. Bu nedenle ahşap kendi içerisinde başta nem içeriğine bağlı olmak üzere kalitesine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, elde edilen ahşabın boyutlandırılması, destek, taşıyıcı veya mimari olarak kullanılması gibi birtakım parametrelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ahşapların TS 647' ye göre sınıflandırılması Tablo 2.1'de verilmiştir (Saral, 2016). Ahşap sınıflandırılması Avrupa ve Türkiye'de üç sınıfa ayrılırken Amerika'da ise altı sınıfa ayrılmaktadır. Bunun nedeni Avrupa'da yapı malzemesi olarak çam türü ağaçlar tercih edilirken yapı yoğunluğu olarak daha fazla ahşabın olduğu Amerika'da daha fazla ağaç türü yapısal olarak kullanılmasıdır (Kayakıran ve Kışalı, 2019).

**Çizelge 2.1 : Ahşap sınıflarının mekanik özellikleri**

### **2.2 Yapısal Lamine Ahşap**

Lamine ahşabın kullanım amacına bakıldığında, ahşabın doğası gereği anizotrop özelliğe sahip oluşunun verdiği dezavantajı gidermek olduğu gözlenmektedir. Bunun için



| (MPa)                                | 1. Sınıf |                | 2. Sınıf |                | 3. Sınıf |                |
|--------------------------------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|
|                                      | Çam      | Kayın,<br>Meşe | Çam      | Kayın,<br>Meşe | Çam      | Kayın,<br>Meşe |
| Çekme Dayanımı<br>(Liflere Dik)      | 3        | 3              | 2,2      | 2,5            | 1,5      | 2              |
| Çekme Dayanımı<br>(Liflere Paralel)  | 105      | 110            | 85       | 100            | -        | -              |
| Basınç Dayanımı<br>(Liflere Dik)     | 65       | 120            | 50       | 100            | 40       | 70             |
| Basınç Dayanımı<br>(Liflere Paralel) | 2        | 3              | 2        | 3              | 2        | 3              |
| Eğilme Dayanımı                      | 90       | 120            | 65       | 90             | 50       | 70             |

ağacın kusurlu bölgeler dışında kalan bölgelerini belirli ebatlarda lif yönleri birbirine paralel olacak şekilde özel tutkallar kullanılarak birleştirilmesi sayesinde lamine ahşap eleman elde edilmektedir. Bu sayede daha iyi özelliklerde ve istenilen tüm ebatlarda ahşap eleman üretmek mümkündür.

Herhangi bir malzemenin katmanlar haline getirilmesi, o malzemenin karakteristikleri üzerinde oldukça büyük bir öneme sahiptir. Ahşabın anizotrop özellik göstermesine sebep olan etkenleri ortadan kaldırarak birleştirilmesi, elde edilen malzemede homojenliği sağlamaktadır. Aynı zamanda katmanlarda kullanılan ağaç türlerinin gerilmelere daha fazla maruz kalacak alt ve üst bölgelerde daha iyi seçilmesini de sağlamaktadır (Gáborík ve diğer., 2016).

Lamine ahşap 1900'li yılların başında Avrupa'da üretimine ve kullanımına başlanmıştır. Yapılar incelendiğinde geniş açıklıklara ihtiyaç duyulan hangar, kilise ve köprü gibi yapılarda kullanımına rastlanmıştır. 2000'li yılların ardından gelişen tutkal teknolojisi lamine ahşabın Avrupa'da daha hızlı yayılmasını sağlamıştır. Avrupa Birliği ise küresel ısınma ve iklim değişikliğini önlemek adına 2006 yılından beri ahşap kullanımını teşvik eden

birtakım teşvik çalışmalar yürütmektedir (Kayakıran ve Kishalı, 2019). Lamine ahşabın kullanımına ülkemizin yapı stoğu nezdinde bakıldığında ise Avrupa ve diğer gelişmiş ülkeler kadar kullanılmamıştır.

### **2.2.1 Yapısal lamine ahşaplarda kullanılan tutkal türleri**

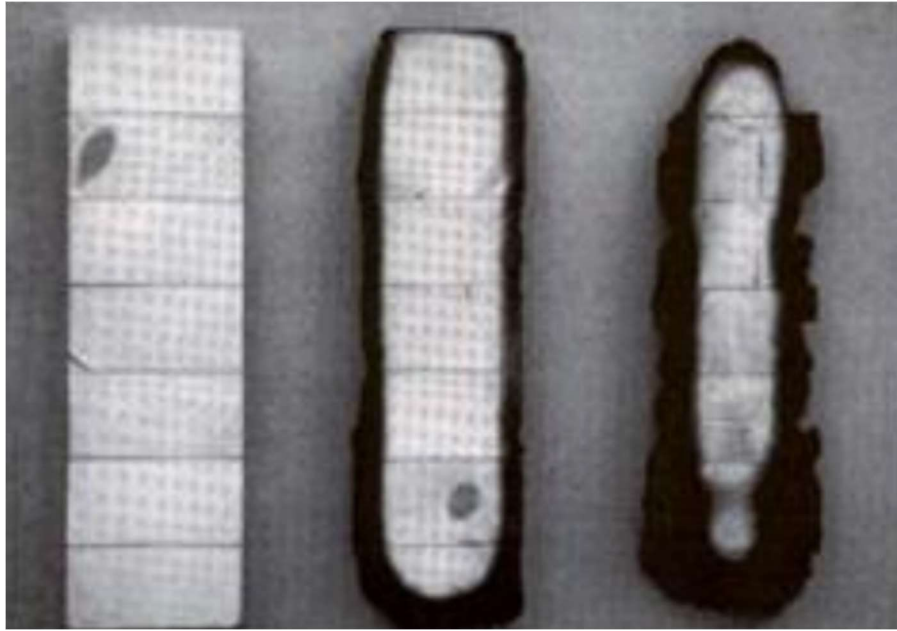
Yapıştırıcı maddenin yapışma özelliği adezyon ve kohezyon kuvvetinden meydana gelmektedir. Adezyon, diğer malzeme ile yapışması iken kohezyon kendi molekülleri arasındaki yapışma olayıdır. Adezyon kuvvetinin oluşabilmesi için farklı olan moleküllerin birbirine çok yakın olmaları gerekmektedir. Bu nedenle iki katı cismi doğrudan birbirine temas ettirerek yapıştırmak mümkün değildir. Verimli bir yapıştırma için ise, iki cisim arasında başta sıvı olan ancak sonradan katılacak bir madde olması gerekmektedir. Bu madde tutkal olarak adlandırılır. Birçok tutkal türü yapışma esnasında bir takım fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar meydana getirerek başta jelatine benzer bir kıvamda iken sonrasında katılaşır (Duamn, 1964).

### **2.2.2 Yapısal lamine ahşabın avantajları**

- 1- Daha yüksek dayanım elde edilebilir. Özenle seçilen laminasyon malzemesi, lamine ahşap elemanı kusursuz olarak üretmeye olanak sağlar. Asıl önemli nokta ise kusurlu olabilecek malzemeleri kesitte daha az yük etki edecek bölgede kullanılabilir. Yüksek gerilime maruz kalacak eksenlere iyi kalite ahşap kullanılırken nötr bölgelere düşük kalite ahşap kullanılabilir. Bu sayede yüklerin ahşap elemana etkisi en aza indirilir ve ahşap keresteden daha yüksek kopma modülü elde edilebilir (Stalnaker ve Harris, 1999: 158).
- 2- İhtiyaç olabildiğince büyük kesitli elemanlar üretilebilmektedir. Biçilmiş keresteler projede gerekli olan kesit alanını karşılamak için istenildiği kadar birleştirilebilir. Bu sayede atalet momenti yüksek elemanlar üretilebilir (Stalnaker ve Harris, 1999: 158).
- 3- Bu iki özellik birleştiği takdirde daha uzun açıklıklar ahşap kullanılarak geçilmesine olanak sağlamaktadır (Stalnaker ve Harris, 1999: 158).
- 4- Büyük kesitli biçilmiş kereste elemanları çoğu zaman ciddi çatlaklara sahip olur. Düzensiz kurutma sonucunda oluşan iç gerilmeler buna sebebiyet verir. Aynı zamanda büyük kesitli biçilmiş keresteler homojen bir yapıya sahip olmadığı için yük altında burulma eğilimi gösterirler. Lamine ahşap elemanlar katmanlar halinde oluşturulması daha homojen bir yapıya sahip olmasını sağlamaktadır. Bu sayede yük

altında burulma eğilimi göstermezken küçük kesitli elemanlar ile oluşturulduğu için büyük kesitli kerestelerdeki gibi büyük çatlaklar da oluşmamaktadır (Stalnaker ve Harris, 1999: 158).

- 5- Lamine ahşap mimari olarak büyük özgürlükler sunmaktadır. Konik ve eğri kirişler, kemerler gibi yapı elemanlarının üretimi mümkündür. İki eksenli eğim verilerek farklı şekillerde taşıyıcı eleman üretimi mümkündür (Stalnaker ve Harris, 1999: 158).
- 6- Kullanılacak bir yapı elemanının uzunluğu boyunca değişen dayanım özellikleri elde edilebilmektedir. Bunun için değişken kesit veya değişken ahşap türü aynı eleman üzerinde kullanılabilmektedir (Stalnaker ve Harris, 1999: 158).
- 7- Ölü yük altında geniş açıklıklı elemanların yapacağı olan sehim miktarını önlemek için üretim esnasında önlemler alınabilmektedir. Bunun için ölü yükün etki edeceği yöne ters bir bükme uygulayarak eleman üretilmektedir. Bu sayede ölü yük etkisindeki sehim dengelenmektedir (Stalnaker ve Harris, 1999: 158).
- 8- Yanma direnci diğer yapı elemanları göz önüne alındığında daha iyidir. Örneğin çelik elemanlar yangın esnasında yumuşayarak göstermiş olduğu dayanım düşer. Ancak ahşap elemanlarda dış kısımdan kömürleşmenin yavaş yavaş meydana gelmesi daha uzun süreli bir dayanım sağlamaktadır.



**Şekil 2.2 :** Lamine ahşabın yangına karşı davranış biçimi

9- Yüksek dayanım özelliğine ve kalitesine sahip olan lamina ahşap, çevresel şartlara diğer malzemelere göre daha az etkilenmesi ile daha uzun bir kullanım süresi sunmaktadır (Stark, Cai ve Carll, 2010: 11-17).

10- Farklı açılarda montaj edilebilmektedir (Stalnaker ve Harris, 1999: 158).

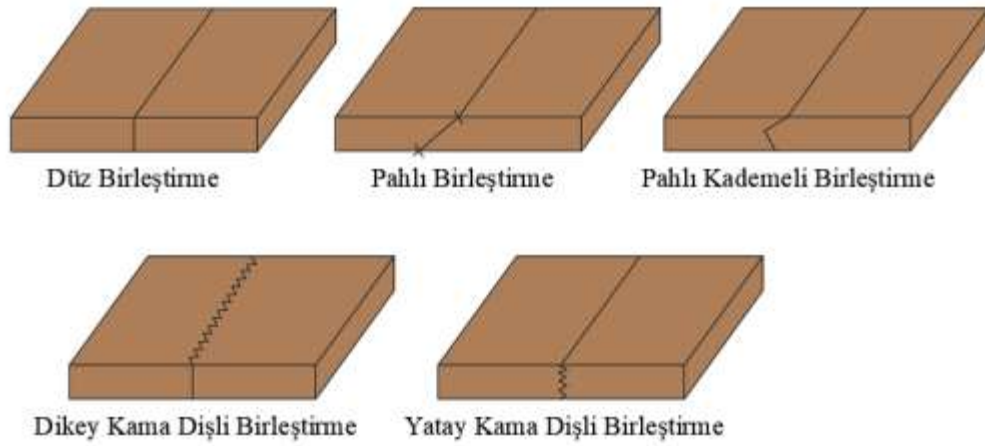
### **2.2.3 Lamine ahşabın üretim yöntemi**

Ahşap elemanları lamine etmek üzere kullanılacak olan parçalar, uygun nem içeriğine sahip olana kadar kurutulur. Lamine ahşap elemanlarının birleştirilmesinden ve tutkallama işlemi öncesinde emprenye işlemi gerçekleştirilir. Lamine işlemleri tamamlandıktan sonra emprenye işlemine de başvurmak mümkündür. Ancak büyük boyutlarda ve farklı kesitlere sahip olan elemanların emprenye edilmesi daha zor olabilir. Bu nedenle, lamine ahşap elemanların emprenye işlemi öncesinde hazırlanmaları daha uygun bir yaklaşım olabilir. Emprenye işlemi, ahşabın içine su veya yağ bazlı kimyasallar enjekte edilerek, ahşabın dış etkenlere karşı korunmasını sağlar. Hangi yöntem ve malzemenin emprenye işlemi için seçildiği, ahşap elemanların tutkal ile yapışma direncini etkileyebilir. Bu nedenle, emprenye aşamasında özenli bir yaklaşım gereklidir (Yörür ve diğer., 2010).

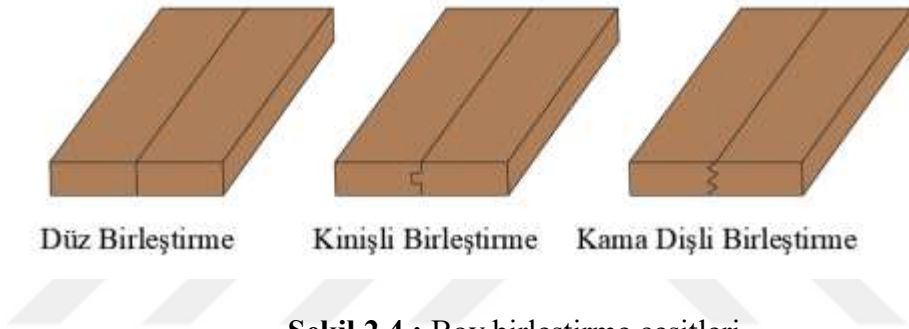
Lamine edilecek ahşap elemanın kullanım amacını belirlemek için öncelikle görsel bir derecelendirme yapılır. Hemen ardından, elastisite modülünü belirlemek amacıyla mekanik bir değerlendirme ve sınıflandırma yapılır. Sınıflandırma aşamasının ardından, lamine edilecek parçaların oluşturulması için en uygun görünen en veya boy birleşim yöntemlerinden biri seçilir. Seçilen yöntem doğrultusunda, elemanların her bir uç bağlantı noktası test edilir ve birleşimleri sağlanır.

Bu aşamadan sonra, üretilecek olan eleman için gereken kalite kombinasyonuna göre lamine uzunlukları düzenlenir. Her bir lamine katmanı düzgün bir yüzey elde edilene kadar planyalanır. İlgili konsepti desteklemek amacıyla, bazı en ve boy birleştirme çeşitleri Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

Bu süreç, ahşap elemanların amaçlarına uygun olarak üretilmesini ve gereken kalite standartlarına ulaşmasını sağlamak amacıyla dikkatlice yürütülmelidir.



**Şekil 2.3 : En birleştirme çeşitleri**

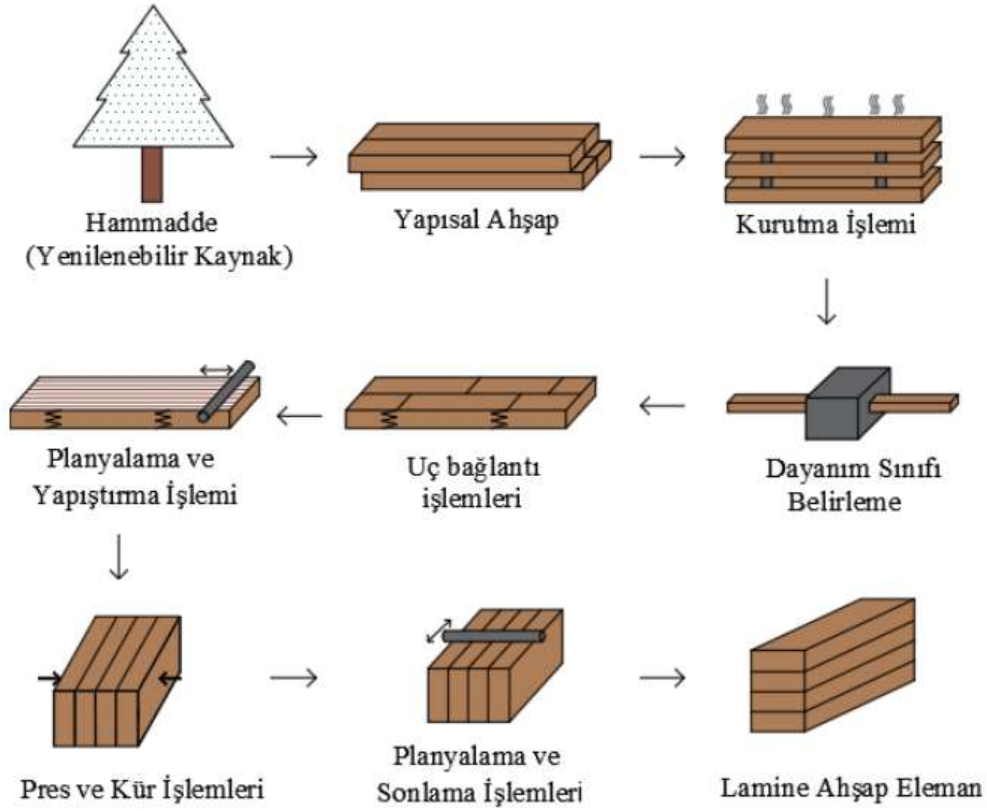


**Şekil 2.4 : Boy birleştirme çeşitleri**

Lamine katmanlar arasına yapıştırıcı uygulandıktan sonra preslenerek istenilen konfigürasyonlar elde edilir. Tutkallama işlemi tamamlandıktan sonra, laminelerin birleşim yerlerinden taşan yapıştırıcıların temizlenmesi için yeniden planyalama işlemi gerçekleştirilir. Bu aşamadan sonra, lamine ahşap istenilen boyuta göre kesilir ve kullanıma hazır hale getirilir (Mengeloğlu ve Kurt, 2004)

Laminasyon işleminin adımları Şekil 2.5'te gösterildiği şekliyle uygulanmaktadır (Şakar ve Çelik, 2021). Farklı eğriler ve en kesitleri elde etmek amacıyla, hidrolik veya manuel olarak çalıştırılan kelepçeler kullanılır. Bu kelepçeler, elemanın etrafına yerleştirilir ve istenen eğriliği veya modele ulaşmak için desteklere önceden sabitlenmiş çelik aparatlarla temas ettirilir. Basınç uygulandığında, laminasyonlar uygun hizalamaya ayarlanır ve böylece kullanıma hazır hale getirilir.

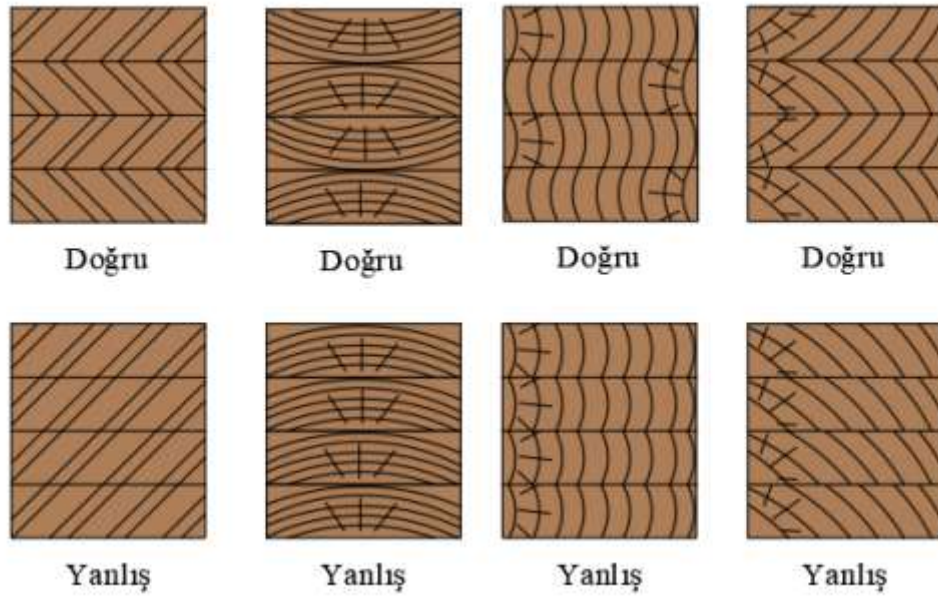
Bu süreç, lamine ahşap elemanların istenen özelliklere sahip olması ve kullanım aşamasında en iyi performansı sergilemesi amacıyla titizlikle uygulanmalıdır.



**Şekil 2.5 :** Tutkallama işlem şeması (Sağlam, 2009)

Lamine ahşap üretimi sürecinde, lamine edilecek katların doğru bir şekilde düzenlenmesi, ilerleyen zamanlardaki dayanıklılık ve sağlamlık açısından son derece kritik bir öneme sahiptir. Bu aşamada yapılan bir hata daha sonraki aşamalarda düzeltilmesi zor olabilir. Lamine katlar, özellikle yaş halkalarının yerleşimine göre düzenlenmelidir. Çünkü ahşap malzeme, yaş halkalarına teğet veya radyal yönde farklı özellikler sergileyebilir (Karayılmazlar ve diğerleri, 2007).

Lamine katların birleşimlerinde doğru ve yanlış düzenlemelerden bazı örnekler Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Bu aşama, lamine ahşap ürünlerin gelecekteki performansını etkileyebileceği için, titizlikle yönetilmelidir.



**Şekil 2.6 : Örnek lamine ahşap katman düzenleri**

#### **2.2.4 Yapısal lamine ahşabın uygulamaları**

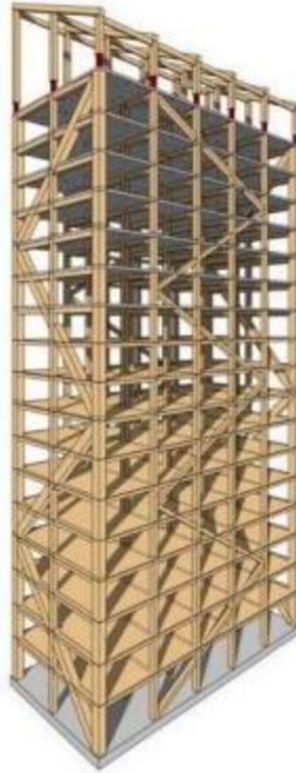
Lamine ahşap kirişler (GLULAM = Glued Laminated Timber), büyük boyutlarda elemanlara ihtiyaç duyulan yapılarda, belirli kalınlıklarda ahşap elemanların üst üste ve yan yana birleştirilmesi ile elde edilir (Sizüçen, 2008).

Lamine ahşap kirişler masif ahşap ile karşılaştırıldığında lamine ahşap kirişlerin mukavemet özellikleri daha üstündür. Etki eden yük ve açıklık değerleri fazla olan spor salonu, tribün, havuz gibi projelerde masif ahşap elemanların mekanik özellikleri yeterli gelmemektedir (Karayılmazlar ve diğer., 2008). Lamine ahşap elemanlara ihtiyaç duyularak taşıyıcı sistemi yapılan yapılara, 2012 yılında yapılmış olan Amerika Araba Müzesi Şekil 2.7’de (Kayakıran ve Kışalı, 2019) ve 85.4m yüksekliği ile dünyanın en uzun ahşap gökdeleni olan The Mjas Tower Şekil 2.8’de (Çağlayan, 2020) örnek olarak verilebilir.



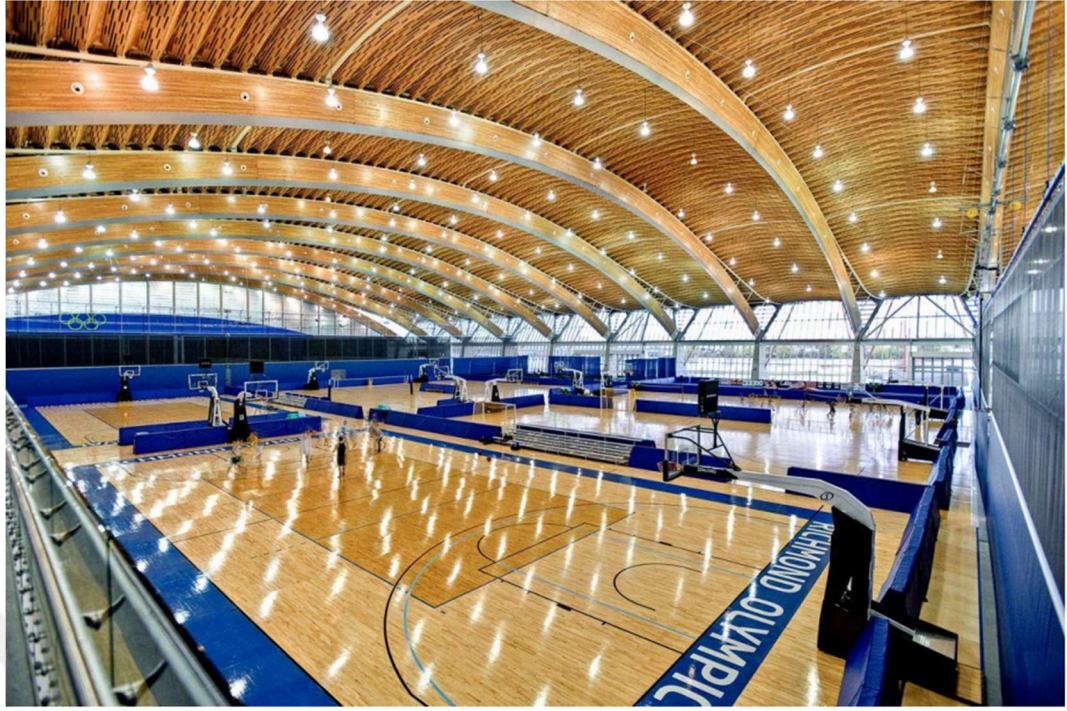


Şekil 2.7 : Amerika'nın Araba Müzesi, Tacoma



Şekil 2.8 : Taşıyıcı iskelet sistemi lamine ahşap olan Mjos Tower, Norveç





**Şekil 2.9 :** Richmond Olympic Oval tutkallanmış lamine kereste uygulaması (Centauroproducts, 2015)

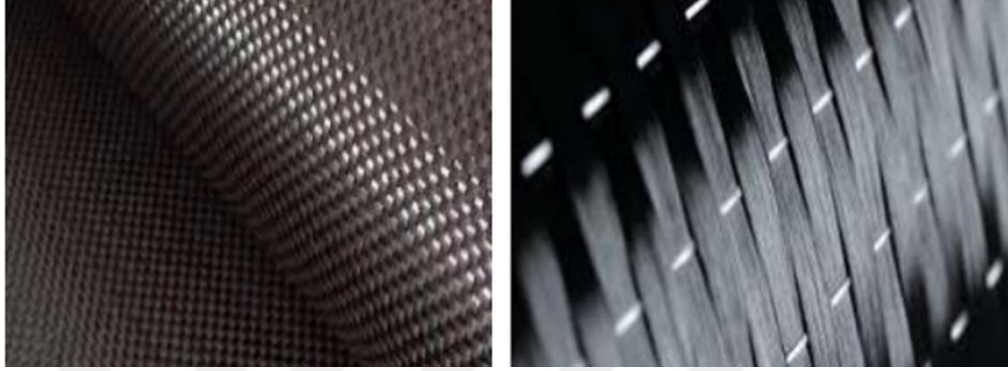
Lamine ahşap kiriş üretiminde tek tür ahşap kullanılabildiği gibi iki tür ahşabın farklı kombinasyonlarda kullanılması zaten bilinen ve kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem yaygın şekilde uygulanmaktadır. Uygulanırken de Avrupa Standartları ve Amerikan Ahşap Yapı Enstitüsünde yer alan bilgiler kullanılmaktadır. İki tür ahşabın kullanılması maliyet açısından etkisi yüksektir. Örnek olarak ahşap kirişin kesiti incelendiğinde nötr olan bölgelere düşük mukavemetli olan ladin gibi ağaç türü kullanılırken yük etkisindeki bölgelere köknar gibi yüksek mukavemetli ahşap kullanılabilmektedir (Tomasi ve diğer., 2009).

Dilik (1999), yapmış olduğu çalışmada, lamine ahşap kirişlerde kullanılan tutkal türü malzemenin performansını lif doğrultusunda çekme, basınç ve yarıлма direnci olarak doğrudan etkilediğini göstermiştir. Perçin ve diğ. (2009), ise tutkal türünün farklılığının ahşap türünün farklılığına oranı incelendiğinde, ahşap türünün farklılığının yapışmaya etkisi tutkal türüne göre oldukça az olduğu tespit edilmiştir.

### 2.3 FRP

Lifli polimer malzemelerden karbon, cam, aramid ve bazalt lifler inşaat mühendisliğinde kullanılmaktadır.

Karbon lifler, karbon içerikli materyalin yüksek sıcaklıkta oksidasyon, karbonizasyon ve grafitleştirme işlemi yapılarak oluşturulur (Karasu, 2016). 5-15 µm arasında çapı değişen, yüksek mekanik özelliklere sahip bir malzemedir. Genelde havacılık gibi alanlarda kullanımı olan karbon lifler inşaat sektörü ile birlikte daha birçok alanda da kullanılmaktadır. Karbon lifler diğer lif türlerine göre çok daha yüksek mekanik özellikler göstermektedir (Buckley ve Edie, 1993).



**Şekil 2.10 :** Karbon lifler

## **2.4 Yapısal Ahşapta FRP**

Yapısal ahşapta takviye olarak çelik ve alüminyumdan üretilen plaka veya çubuklar güçlendirme elemanı olarak eskiden kullanılmakta idi. Belirli laminasyon katmanları arasında bu malzemeler yerleştirilerek güçlendirme yapıldığında sertlikte %40 ile %50 arasında artış gözlemlense de moment artışı çok az olmaktadır. Ahşabın nem içeriği de ahşap ile alüminyum arasında katman olmasına sebebiyet vermektedir. Alüminyum ile çeliğin ahşaba etkileri incelendiğinde ise çelik daha verimli olduğu gözlemlenmiştir (Bulleit ve diğer., 1989; Lantos, 1970).

Lifli polimer malzemeler 20. yy.'ın sonlarına gelindiğinde sektörde kullanıma başlanmıştır. Lifli polimerler ile ahşabın mekanik özellikleri incelendiğinde, lifli polimerlerin ahşaba göre tasarım çekme dayanımı olarak 70 kat benzer şekilde elastisite modülünün de 10 kat artış gösterdiği gözlemlenmiştir (Martin ve diğer., 2000). Lifli polimerler, yoğunlukları ahşaba göre düşük olması takviye edildiği ahşap elemanın ağırlığını ve kesitini fazla arttırmadan dayanımına büyük katkılar sağlamaktadır.

Ahşapta lifli polimerin kullanım amacına bakıldığında, ahşap elemanın mekanik özelliklerini iyileştirmenin yanında yerel yırtılmaları sınırlandırmak ve çatlak açıklığını durdurma (Corradi ve diğer. 2021).

Lifli polimerler ve çelik malzemelerin kıyaslamaları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2 : Lifli polimer (LP) ve çelik malzeme özelliklerinin karşılaştırılması**

| Özellikler                          | LP | Çelik |
|-------------------------------------|----|-------|
| Düşük Yoğunluk                      | +  |       |
| Yüksek Elastisite Modülü            |    | +     |
| Korozyona Dayanıklılık              | +  |       |
| Yüksek Çekme Dayanımı               | +  |       |
| Yüksek Yarıлма Dayanımı             | +  |       |
| Düşük Isı İletkenliği               | +  |       |
| Düşük Manyetik Geçirgenlik          | +  |       |
| Değişken Hava Koşullarına Uyumluluk | +  |       |
| Montajda Uzmanlık Gerektirme        | +  |       |
| Bağlantı ve Birleşim kolaylığı      |    | +     |
| Yangına Dayanıklılık                |    | +     |
| Düşük Maliyet                       |    | +     |
| İzotropik Özellik                   |    | +     |
| Gevrek Göçme                        | +  |       |

Ancak lifli polimerlerin türlerine bakıldığında çok fazla değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle genel olarak yapılan bu kıyaslama farklı lifli polimerlerde farklı sonuçlar doğurmaktadır. Örnek olarak karbon lif takviyeli polimerlerin (FRP) elastisite modülü çelikten daha yüksektir.

## 2.5 Yapısal Ahşapta Çelik Halat

Çelik gergi çubuklu lamine ahşap kirişler genellikle geniş açıklıklı yapılarda kullanılır. Geniş açıklıklı çatı makasları ve köprüler için farklı inşaat türleri mümkündür. Bununla birlikte, bu işlemlerin uygulanması durumunda genellikle büyük boyutlara ihtiyaç duyulur ve bu da kesit kuvvetlerini (özellikle eğilme momentini) ağırlıklarına göre daha da artırır. Büyük açıklıklarla baş etmenin bir başka yolu da kirişin maksimum eğilme momentini azaltmaktır. Bir veya daha fazla elastik ara desteğin eklenmesiyle statik sistem, tek açıklıklı kirişten çift açıklıklı kirişe, hatta sürekli desteklenen kirişe dönüşür.

## 2.6 Yapısal Ahşap Güçlendirme

Yapısal taşıyıcı elemanlar geçmişten beri incelendiğine hizmet süresi boyunca birçok hasar gözlenmektedir. Bu hasarların tespit edilmesi ve gerek imalat öncesi gerekse hasar sonrası güçlendirme, onarma veya yeniden yapma söz konusu olabilmektedir. Yapının durumu, hasarın boyutu, etki edecek durumlar incelendiğinde yapıda oluşması muhtemel etkiler öngörülerek yapılacak müdahalenin belirlenmesi önemlidir. Taşıyıcı sistem olarak betonarme, çelik ve ahşap yapılarda oluşan hasarlar ve sebepleri incelendiğinde ahşap yapılardaki riskin diğer yapı elemanlarına göre daha fazla olmadığı tespit edilmiştir (Frühwald ve diğer. 2007).

Dröge ve Dröge (2003) yapmış olduğu çalışmada ahşap yapılarda meydana gelen ve gelmesi olası olan hasarların nedenlerini sınıflandırmıştır. Aşağıda bu hasarlar listelenmiştir:

- Birleşim yerlerinde yetersiz davranış
- Neme maruz kalmanın etkileri (gerilme, büzülme)
- Kötü dayanıklılık performansı
- Yapısal sistemin tasarımında yetersizlik
- Malzemedeki kaynaklı yetersiz performanslar
- Yüklerin yetersiz takdir edilmesi.

## 2.7 Tokluk

Yük altında numunenin göçmeye maruz kalana kadar birim hacim başına yapılan iş tokluk olarak adlandırılır. Gerilme - Şekil Değiştirme eğrisinin altındaki alan tokluk değerine eşittir (Nataraja ve diğerleri, 1999).

### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler

##### 3.1.1 Masif ahşap plaka

Ladin türünden ağaçtan elde edilen masif ahşap panel 1200mmx3500mmx30mm ölçülerindedir.

##### 3.1.2 Tutkal

Lamine ahşap kiriş elemanın katmanları arasında kullanılan tutkalın mekanik özellikleri Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Tutkalın teknik özellikleri

| Kimyasal yapı        | Dış Görünüş | Yoğunluk (g/ml) | Katı madde (%) | Viskosite (20 °C 'de) | pH  | Tutkal çizgisel basıncı | Suya dayanıklılık sınıfı |
|----------------------|-------------|-----------------|----------------|-----------------------|-----|-------------------------|--------------------------|
| Vinil Asetat Polimer | Beyaz       | 1,05            | 54             | 14440                 | 5-6 | 9-12                    | D3                       |

##### 3.1.3 CFRP

Karbon fiber kumaş (CFRP) olarak 600g/m<sup>3</sup> birim hacim ağırlığına sahip tek yönlü CFRP kullanılmıştır. Kullanılan CFRP'nin mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Karbon Fiber Kumaş (CFRP) mekanik özellikleri

|      | Kalınlık (mm) | Alan Ağırlığı (g/m <sup>3</sup> ) | Çekme Dayanımı (MPa) | Elastisite Modülü (GPa) | Kopmada Uzama (%) |
|------|---------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| CFRP | 0,7           | 600                               | 4137                 | 242                     | 1,5               |

### 3.1.4 Çelik halat

Bu tez çalışmasında ahşabın mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla 6mm çelik halat kullanılmıştır. Kullanılan çelik halatın mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.3 de verilmiştir.

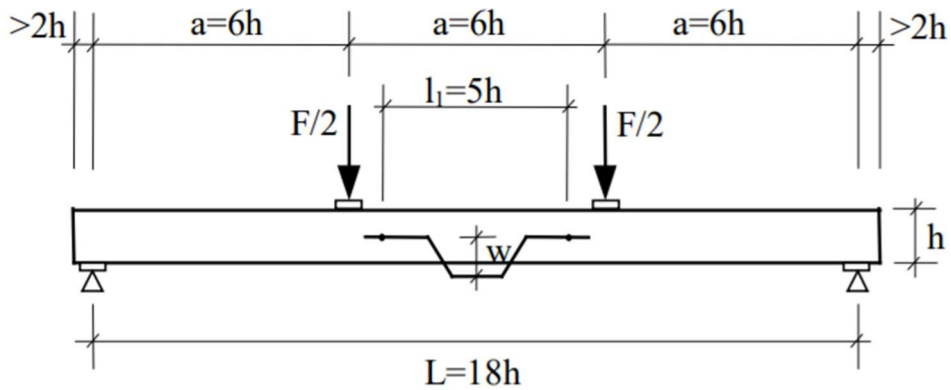
Çizelge 3.3 : Çelik halatın mekanik ve fiziksel özellikleri

| Malzeme     | Halat Çapı (mm) | Birim Ağırlık (kg/m) | Çekme Mukavemeti (MPa)   |                        |
|-------------|-----------------|----------------------|--------------------------|------------------------|
|             |                 |                      | Minimum Kopma Yüğü (ton) |                        |
| Çelik Halat | 6               | 0.138                | 180 kgf/mm <sup>2</sup>  | 1770 N/mm <sup>2</sup> |
|             |                 |                      | 2.2                      | 2.4                    |

### 3.2 Deneysel Çalışma

#### 3.2.1 Deney düzeneği

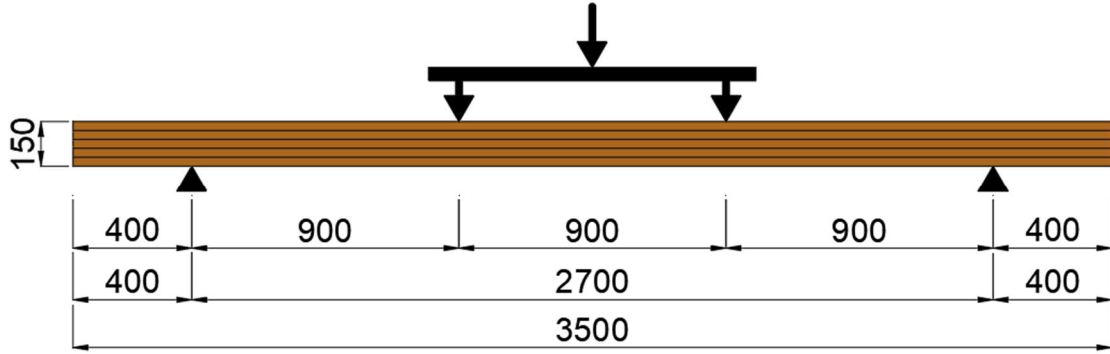
Deney düzeneği TS EN 408+A1 “Ahşap yapılar - Yapı kerestesi ve tutkallanmış lamine kereste - Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini” standardına uygun olarak ölçülendirilmiştir. Standartta verilen ölçüler Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Ahşap kiriş elemanların TS EN 408+A1 ‘e göre eğilme altında yükleme sistemi

TS EN 408+A1 standardına göre deney düzeneği ölçüleri Şekil 3.1’de verilmiştir. Standart masif ahşap plaka boyutları 3500x1200x30 mm olmasından dolayı numune boyu

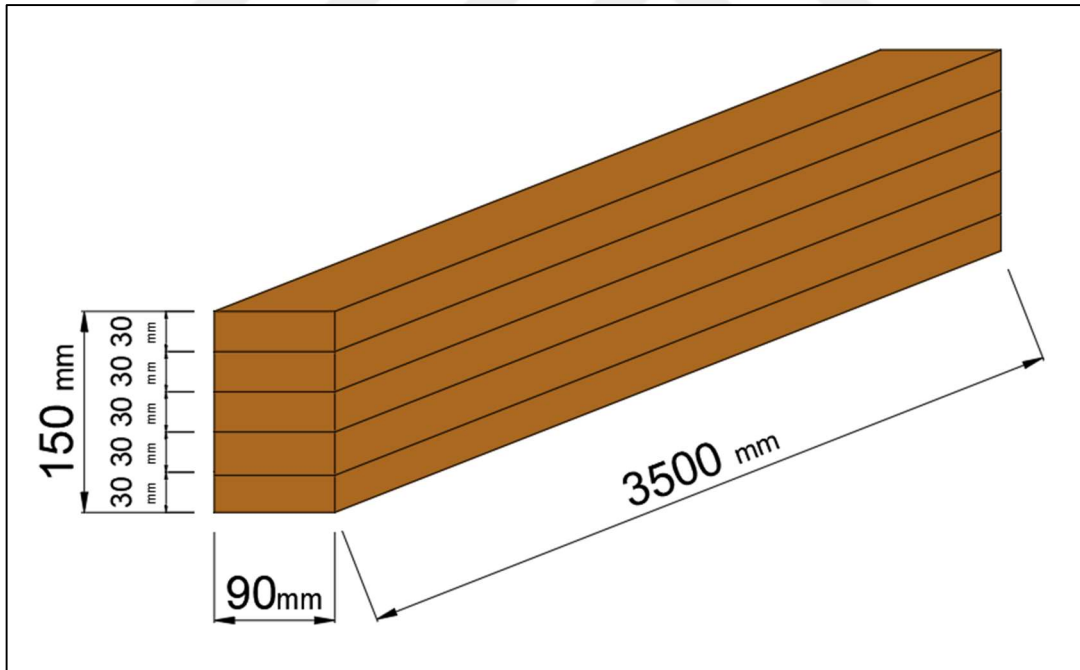
3500 mm ahşap kiriş üzerinde hesaplanmıştır. Masif ahşap plaka kalınlığı 30mm kullanılarak 5 katman halinde 150mmx90mm kiriş enkesiti kullanılmıştır.



**Şekil 3.2 :** Lamine ahşap kiriş dört noktalı yükleme düzeneği ölçüleri (mm)

### 3.2.1.1 Normal lamine ahşap kirişler

Normal lamine ahşap kirişler (0N), referans numunesi olarak kullanılmaktadır. 90x150 mm enkesitinde 3500 mm boyunda ve 30 mm kalınlığında masif ahşap panellerin 5 kat kullanılması ile lamine ahşap kiriş elde edilmiştir. (Şekil 3.3)

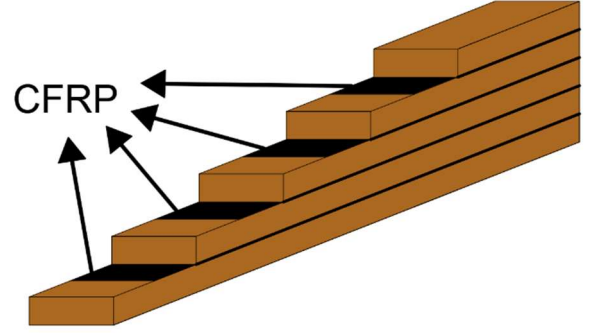
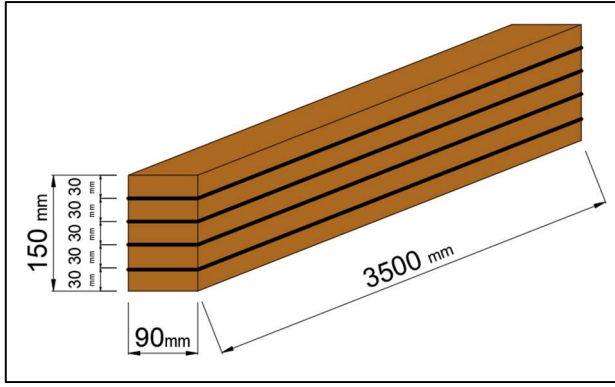


**Şekil 3.3 :** Normal lamine ahşap kiriş elemanı

### 3.2.1.2 CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişler

CFRP işe güçlendirilmiş lamine ahşap kiriş (0F), referans kiriş olarak kullanılmaktadır. Aynı ölçülerde üretilen lamine ahşap kirişlere ek olarak katman arasına karbon fiber kumaş yerleştirilerek laminasyon işlemi yapılmıştır. (Şekil 3.4)

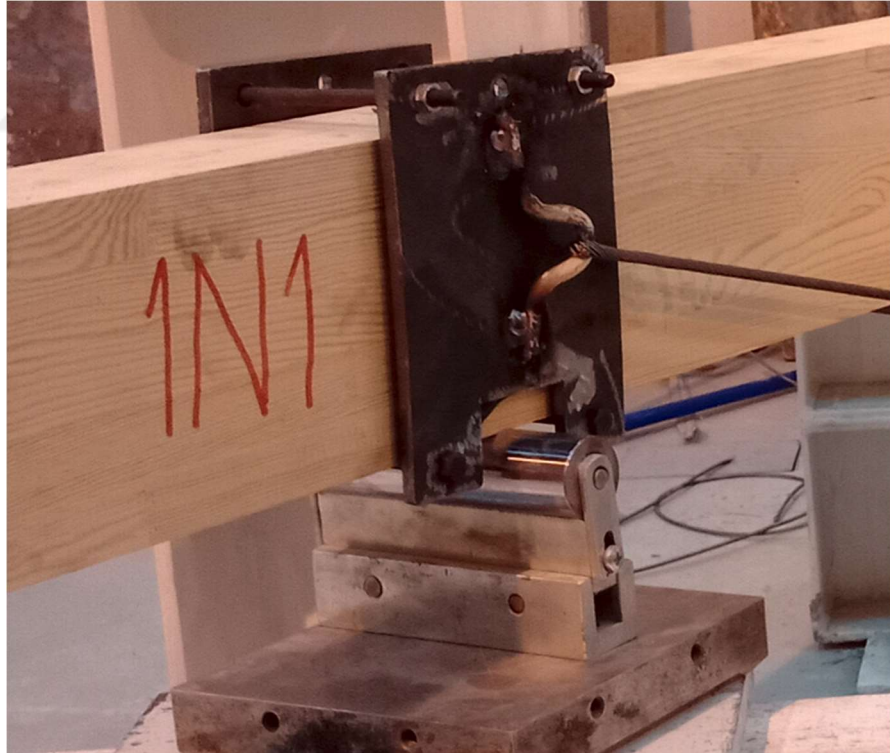




**Şekil 3.4 : CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kiriş elemanı**

### 3.2.2 Çelik halat montajları

Çelik halatların ahşap üzerine sabitlerken ahşaba zarar vermemek adına sıkıştırma yolu ile sabitlenmiştir. 10mm çelik plakalar kullanılmıştır. Aynı zamanda çelik elemanlar mesnet ve yükleme noktalarına etki etmemesi adına o bölgeler lazer kesim yöntemi ile belirli ölçülerde kesilmiştir. Karşılıklı cıvata ve somunlarla sıkıştırma yöntemi ile ahşap yüzeyine plakalar sabitlenmiştir. (Şekil 3.5)



**Şekil 3.5 : Çelik halatın ahşap yüzeyine sabitlenmesi**

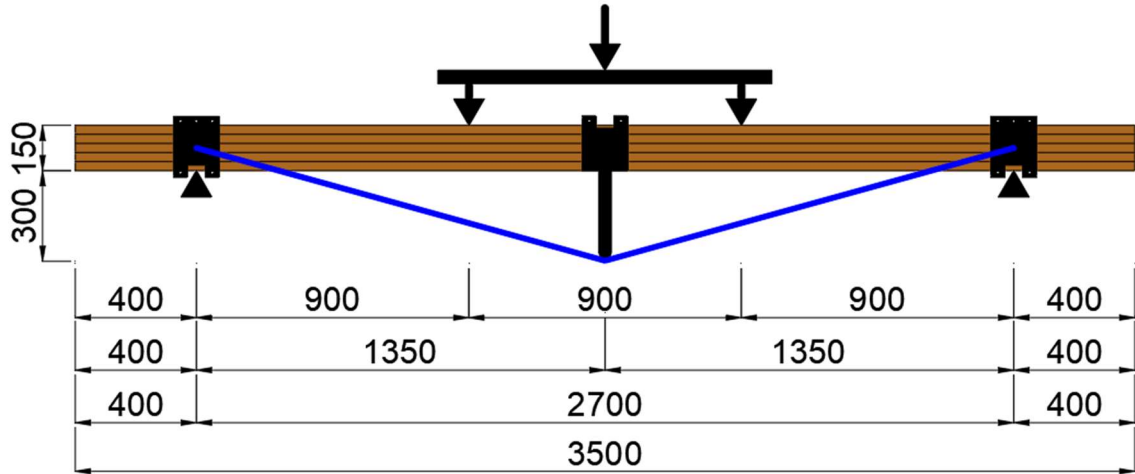
Bu çalışmada 6mm çelik halat kullanılmıştır. Çelik halat sabitlemesinde özel klips elemanları ve istenilen yüklerde germe kuvveti uygulanabilen anahtar kullanılmıştır. (Şekil 3.6)





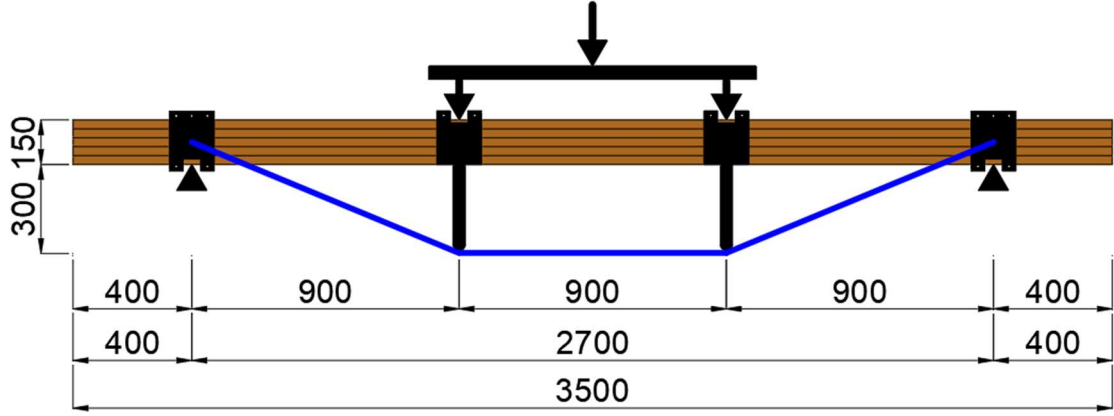
**Şekil 3.6 :** Halat sabitleme klipsi ve halat germe anahtarı

Çelik halat güçlendirme yöntemi varyasyonları, numune sayıları göz önüne alınarak ikişer adet olmak üzere 3 varyasyon uygulanmıştır. 1 numaralı (1N) çelik halat güçlendirme yöntemi Şekil 3.7’de verilmiştir. Bu yöntemde ahşabın orta kısmına yerleştirilen çelik malzemesi ile halat V formuna getirilmiştir.



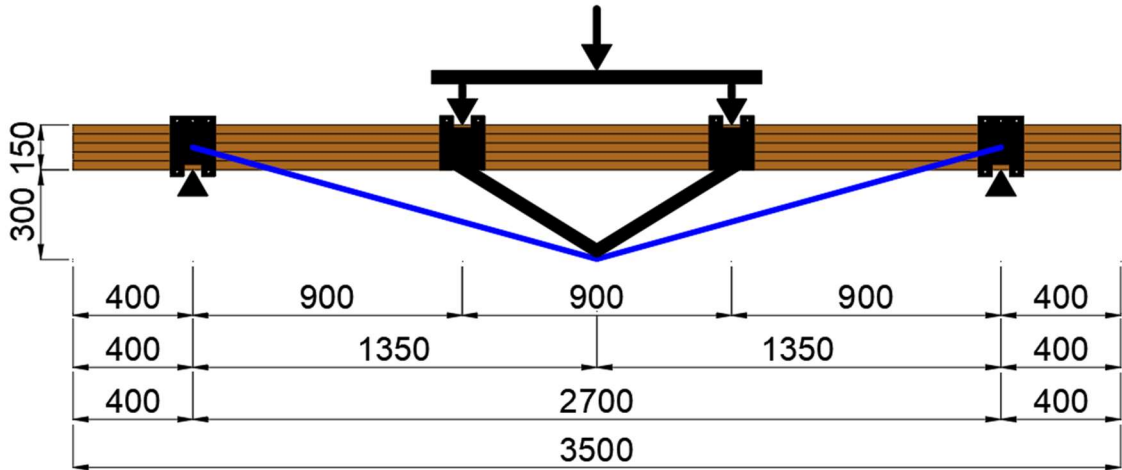
**Şekil 3.7 :** 1 Numaralı çelik halat güçlendirme düzeneği (mm)

2 numaralı (2N) çelik halat güçlendirme yöntemi Şekil 3.8’de verilmiştir. Bu yöntemde yükleme noktalarının altına yerleştirilen iki ayrı çelik malzemesi ile halat ters yamuk formuna getirilmiştir.



**Şekil 3.8 : 2 Numaralı çelik halat güçlendirme düzeneği (mm)**

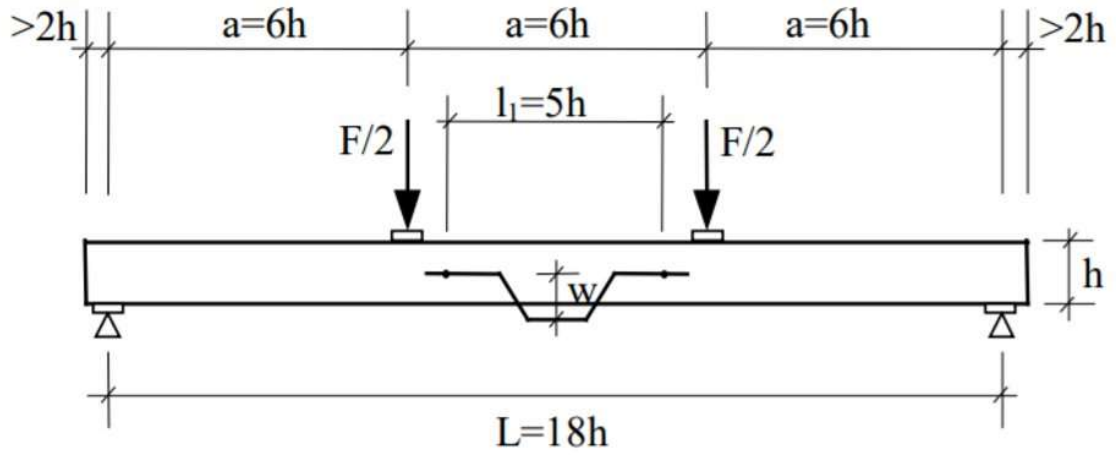
3 numaralı (3N) çelik halat güçlendirme yöntemi Şekil 3.9’de verilmiştir. Bu yöntemde yükleme noktalarının alt kısmından yerleştirilen V şeklinde çelik malzeme ile V formuna getirilmiştir.



**Şekil 3.9 : Numaralı çelik halat güçlendirme düzeneği (mm)**

### 3.2.3 Deney düzeneği

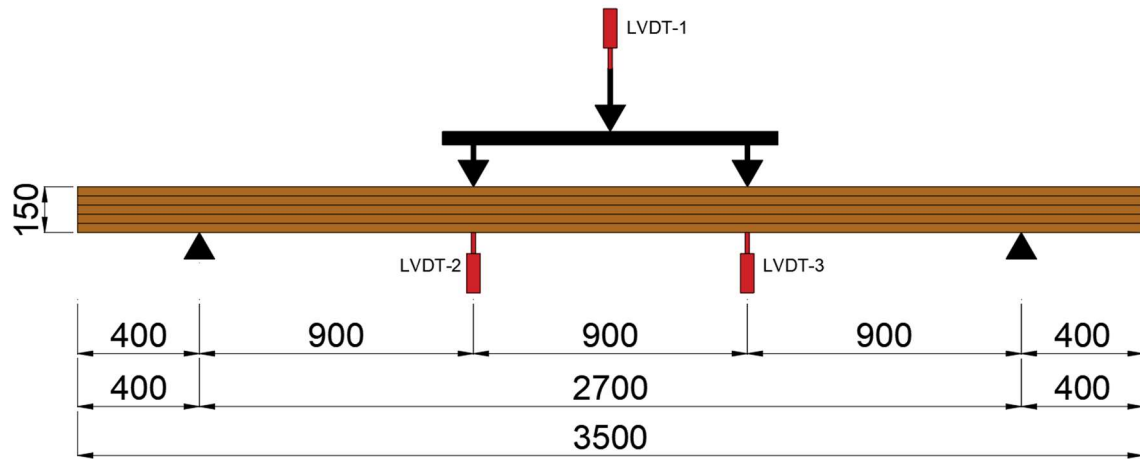
Deney düzeneği, TS 5497 EN 408 “Ahşap Yapılar – Yapı Kerestesi ve Tutkallanmış Lamine Kereste – Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Tayini” yönetmeliğine uygun olarak Şekil 3.10’de verilen ölçü oranlarına göre oluşturulmuştur. Bu yönetmeliğe göre lamine ahşap elemanların eğilme davranışını incelemeye 4 noktalı yükleme sistemi kullanılmaktadır. İki mesnet arası mesafe yüksekliğin 18 katı olmalıdır.



**Şekil 3.10 :** TS EN 408+A1 standardına göre dört noktalı yükleme deney düzeneği

### 3.2.3.1 Deplasman ölçüm noktaları

Kirişlerin kırımında deplasman ölçüm noktaları Şekil 3.11’de gösterildiği gibi 3 adet noktadan yapılmaktadır. 1 numaralı (LVDT-1) deplasman ölçüm cihazı, yükleme düzeneğinin üzerinde yer alan cihaz tarafından alınırken, 2 ve 3 numaralı deplasman ölçüm cihazları ek olarak yerleştirilerek yükleme yapılmıştır.



**Şekil 3.11 :** Lamine ahşap kiriş deney düzeneği ölçüm noktaları

## 4. ARAŞTIRMA BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1 Normal Lamine Kiriş

#### 4.1.1 Çelik halat güçlendirilmiş normal lamine kirişlerin dayanımı

##### 4.1.1.1 Çelik halatla güçlendirilmiş ahşap kirişlerin hasar biçimi

Referans numunesine (Şekil 4.2) göre çelik halat ile güçlendirilmiş numuneler gözle görülür düzeyde deplasmanda artış görülmektedir. Lamine ahşap kirişlerde meydana gelen çatlaklar en zayıf bölgeler olan masif panelin birleşme bölgelerinde oluşmaktadır. Normal lamine ahşap kirişte çatlaklar hızlı bir şekilde en alt tabakadan üst tabakalara doğru ilerlemiştir. Çelik halat ile güçlendirilmiş numunelerin maruz kaldığı yük çelik halat tarafından absorbe edilmesinden dolayı çatlakların oluşması ve üst katmanlara geçmesi zaman almaktadır. Bu sayede hem daha fazla yük ve deplasman elde ederken, toklukta da büyük oranda artış elde edilmektedir.



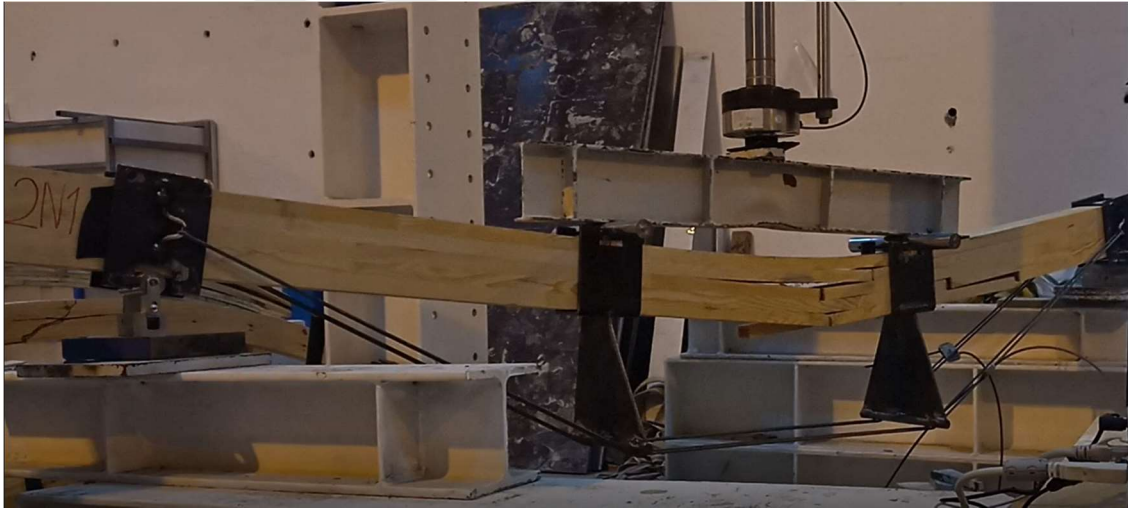
**Şekil 4.1 :** Referans (0N) lamine ahşap kirişin hasar biçimi

1 numaralı çelik halat güçlendirmesi incelendiğinde, 4 noktalı yükleme düzeneğinin etkisi altında çatlaklar yükün uygulandığı noktalardan birinden başlayarak üst katmanlara doğru geçmektedir. 1 numaralı çelik halat güçlendirme yönteminde kullanılan çelik malzemenin ahşap kirişin ortasında olması yük etkisi altında çatlakların oluşmasını engellemesine rağmen diğer yöntemlere kıyasla daha az etki göstermiştir. (Şekil 4.3)



**Şekil 4.2 :** 1 Numaralı (1N) çelik halat ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin hasar biçimi

2 numaralı çelik halat güçlendirme sistemi göz önüne alındığında, yüklerin ahşaba uygulandığı noktanın tam altından çelik elemanların yerleştirilmesi 1 numaralı güçlendirmeye kıyasla çok daha fazla etki etmektedir. Çatlakların oluşması ve ilerlemesi takip edildiğinde bu etki daha iyi gözlemlenmektedir. (Şekil 4.4)



**Şekil 4.3 :** 2 Numaralı çelik halat ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin hasar biçimi

3 numaralı çelik halat güçlendirme sistemi göz önüne alındığında, yükleme noktalarının tam altına yerleştirilen çelik elemanlar 1 numaralı güçlendirmeye nazaran daha iyi etki etmesine karşılık, 2 numaralı güçlendirmeye kıyasla daha az bir etki göstermiştir. Çatlak bölgelerini incelediğimizde, 2 numaralı güçlendirilmede kirişin iki farklı noktasına yayılması buna karşılık 1 ve 3 numaralı güçlendirmede çatlak bölgesinin tek noktada oluşması çelik elemanlarının konum etkisini daha iyi gözlemlememizi sağlamıştır. (Şekil 4.5)

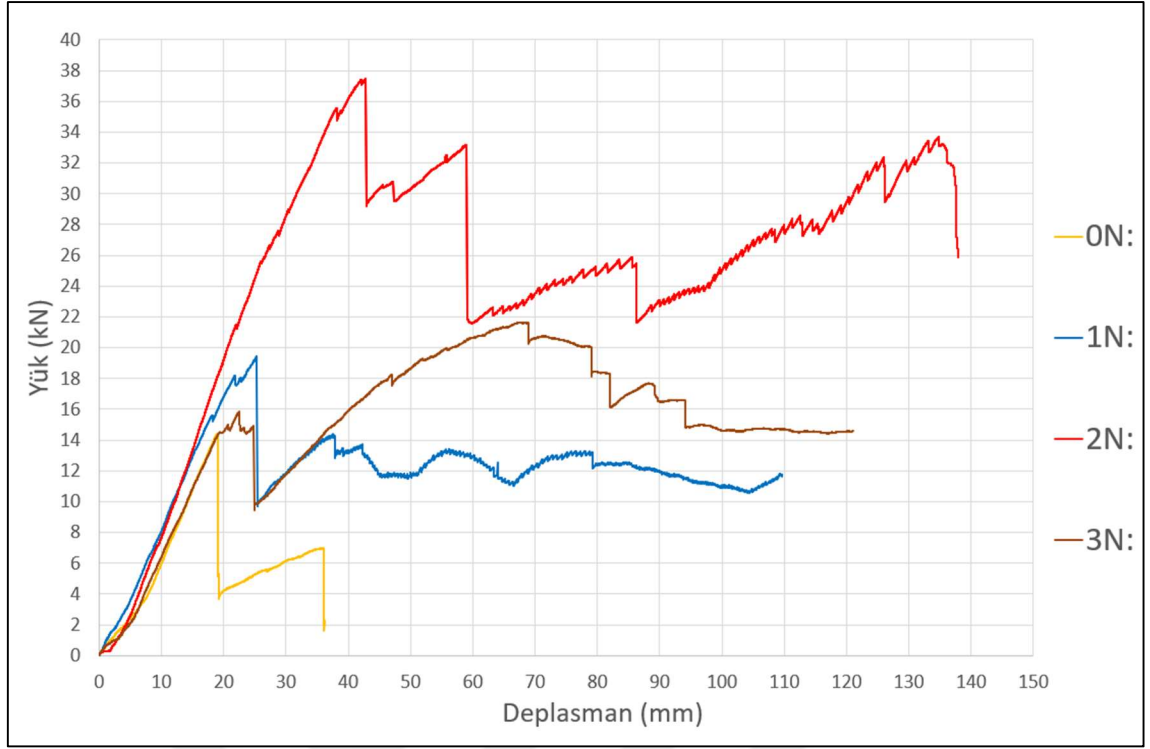


**Şekil 4.4 : 3 Numaralı çelik halat ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin hasar biçimi**

#### **4.1.1.2 Çelik halat varyasyonlarının eğilme dayanımına etkisi**

Şekil 4.1 de üç farklı varyasyonda çelik halat ile güçlendirilmiş lamine kirişlerin yük-deplasman grafiği görünmektedir. Deneysel bulgular, normal lamine ahşap kiriş (0N) maksimum 14 kN yük ve 36 mm deplasman yaptığı gözlenmiştir. Çelik halat ile güçlendirilmiş lamine kirişlerin değerlerinde ise en fazla artış 2 numaralı (2N) güçlendirme ile maksimum 38 kN yük ile 137 mm deplasman elde edilmiştir. Bu sayede referans numuneye göre %168'lik bir yük artışı ve %275'lik bir deplasman artışı elde edilmiştir. Bunun yanı sıra tokluk göz önüne alındığında referans numunesinde 214 değeri, 2 numaralı güçlendirmede ise 3393 değeri elde edilerek %1486'lık bir artış elde edilmiştir.





**Şekil 4.5 :** Çelik halat güçlendirme yöntemlerinin normal lamine ahşap kirişlere etkisi

## 4.2 CFRP'li Lamine Kiriş

### 4.2.1 Çelik halat güçlendirilmiş CFRP'li kirişlerin dayanımı

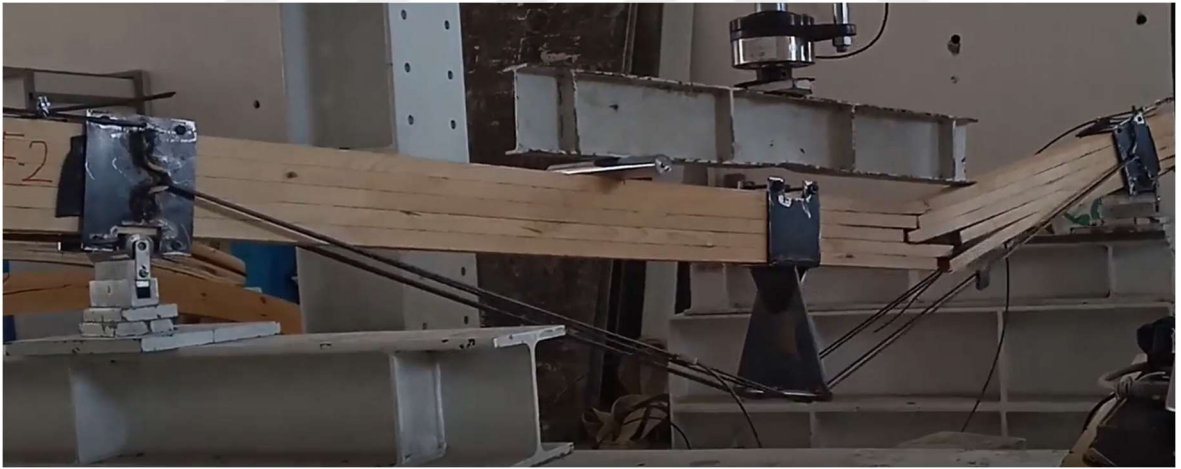
#### 4.2.1.1 FRP'li lamine kirişlerin çelik halat güçlendirilmesinin hasar biçimi

Referans CFRP'li ahşap numunesi (0F) (Şekil 4.7) normal ahşap numunesine (0N) göre deplasman artışı gözlenmiştir. Çatlakların en alt tabakadan üst tabakalara geçmesi yavaşlamıştır. Bunun nedeni katmanların arasına yerleştirilen CFRP malzemesi kirişin alt bölgelerinde oluşan çekme kuvvetlerini karşılayarak dayanımda ve deplasmanda artış sağlamıştır. Çelik halat sistemleri kullanıldığında ise normal ahşap kirişteki çelik güçlendirmelerine göre daha fazla artış elde edilmiştir. Görülen en büyük etken çatlakların üst katmanlara geçişinin büyük oranda azalması ve lamine plakalar arasındaki açılma mesafelerinin de düşmesi gözlenmiştir.



**Şekil 4.6 :** CFRP ile güçlendirilmiş referans lamine ahşap kirişin (0F) hasar biçimi

1 numaralı çelik halat güçlendirilme yöntemi ile güçlendirilmiş CFRP takviyeli ahşap kirişin kırımı incelendiğinde, 1N numunesinde olduğu gibi çatlak yükün uygulandığı noktada başlamıştır. Diğer numunelerde de olduğu gibi CFRP çatlakların açılmasını engelleyerek daha fazla deplasman yapması sağlanmıştır. (Şekilde 4.8)



**Şekil 4.7 :** 1 Numaralı çelik halat ve CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin (1F) hasar biçimi

2 numaralı çelik halat güçlendirilme yöntemi ile güçlendirilmiş CFRP takviyeli ahşap kirişin kırımı incelendiğinde, çatlak 2N numunesinde de olduğu gibi orta bölgede oluşmakta ancak CFRP çatlağın üst katmanlara geçişini büyük oranda azaltmaktadır. Bu sayede daha fazla yük artışı elde edilmektedir. CFRP ahşap elemanların birbirinden ayrılmasına engel olması da daha fazla deplasman yapmasına olanak sağlamaktadır. (Şekil 4.9)





**Şekil 4.8 :** 2 Numaralı çelik halat ve CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin (2F) hasar biçimi

3 numaralı çelik halat güçlendirilme yöntemi ile güçlendirilmiş CFRP takviyeli ahşap kirişin kırımı incelendiğinde, çatlak 3N numunesindeki gibi 2 noktada oluşmakta ancak karbon fiber kumaş lamine katmanlarının en alt tabakasında kalmasını sağlamaktadır. (Şekil 4.10)

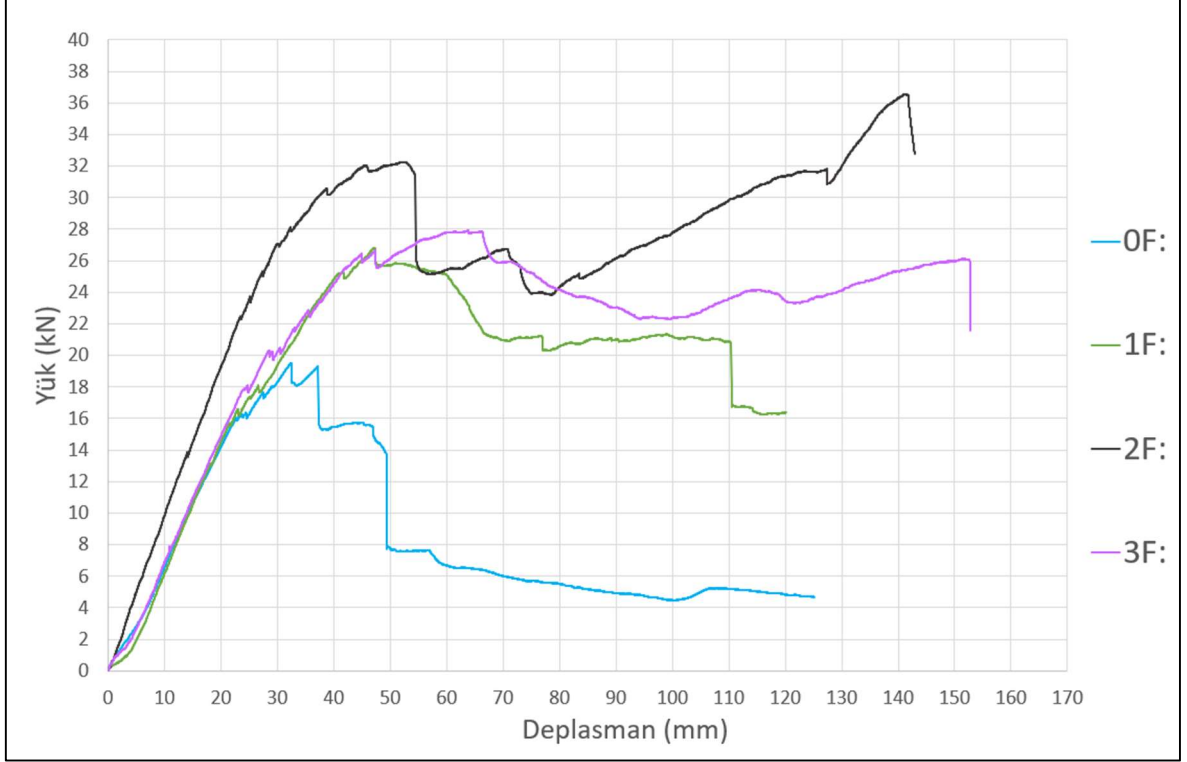


**Şekil 4.9 :** 3 Numaralı çelik halat ve CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişin (3F) hasar biçimi

#### **4.2.1.2 CFRP'li lamine kirişlerin çelik halat varyasyonlarının eğilme dayanımına etkisi**

Şekil 4.6 de üç farklı varyasyonda çelik halat ve CFRP ile güçlendirilmiş lamine kirişlerin yük/deplasman grafiği görünmektedir. Deneysel bulgular, CFRP ile güçlendirilmiş referans lamine ahşap kiriş (0F) maksimum 19 kN yük ve 125 mm deplasman yaptığı gözlenmiştir. Çelik halat ve CFRP ile güçlendirilmiş lamine kirişlerin değerlerinde ise en fazla artış 2 numaralı (2F) güçlendirme ile maksimum 32 kN yük ile 143 mm deplasman

elde edilmiştir. Bu sayede referans numuneye göre %92’lik bir yük artışı ve %14’lik bir deplasman artışı elde edilmiştir. Bunun yanı sıra tokluk göz önüne alındığında referans numunesinde 1045 değeri, 2 numaralı güçlendirmede ise 3779 değeri elde edilerek %262’lik bir artış elde edilmiştir.



**Şekil 4.10 :** Çelik halat güçlendirme yöntemlerinin CFRP ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişlere etkisi

#### 4.3 Tokluk

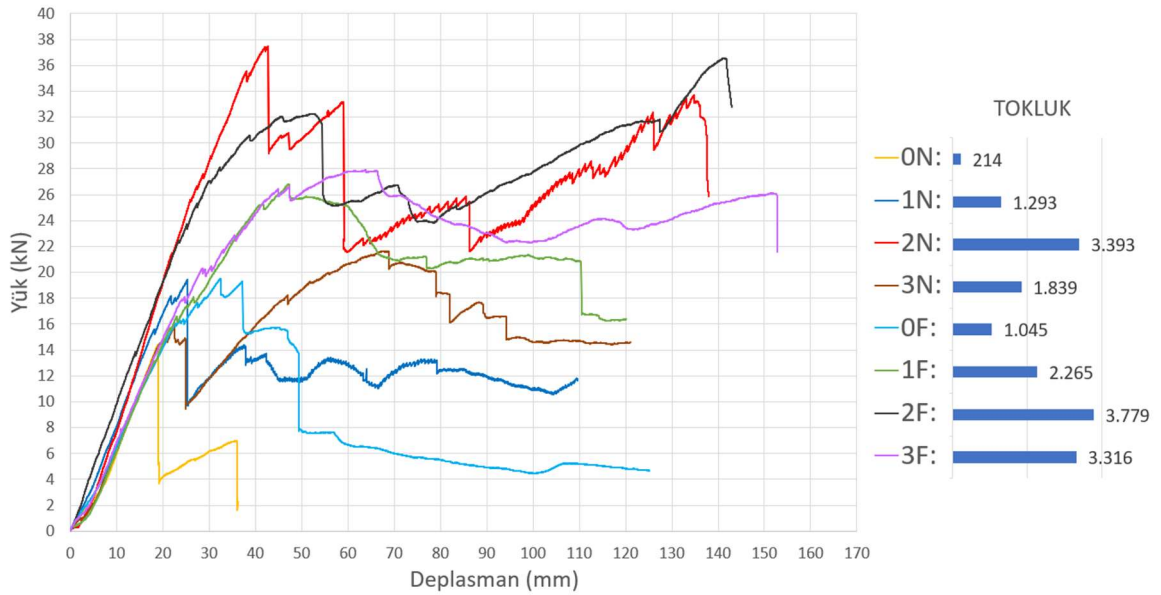
Tokluk, eksenel yük altındaki bir elemanın hasar olana kadarki enerji emme kapasitesini ölçen önemli bir parametredir (Launey vd. 2008; Soderholm 2010). Lamine ahşap kirişlerin tokluk değerleri de karşılaştırılmıştır. Tüm numunelerin yük-deformasyon grafikleri ve tokluk değerleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde CFRP kullanılmayan normal lamine ahşap kiriş numuneleri kıyaslandığında (0N-2N) %168 yük artışı ile %275 deplasman artışı elde edilmiştir. Ayrıca tokluk göz önüne alındığında maksimum tokluğun elde edildiği 2 numaralı normal lamine ahşap kiriş güçlendirmesi (2N), referans numuneye (0N) göre kıyaslandığında %1486’lık bir artış elde edilmiştir.

CFRP, lamina ahşap kirişlerde uygulandığımızda çatlak oluşumlarını önlediği ve süneklik artışı elde ederken eksenel yük taşıma ve tokluk kapasitesinde de önemli ölçüde artış elde edilmiştir. Ayrıca lif oranının arttırılması ahşap elemanlarda tokluk ve süneklik

artışını Borrega ve Kärenlampi 2008 ve Fragiaco ve ark. 2011 yapmış olduğu çalışmada göstermektedir.

CFRP kullanılan lamine ahşap kirişler incelendiğinde tokluk değerleri 0F numunesinde 1045 değerinden 2F numunesinde 3779 değerine çıkarak %262'lik bir artış elde edilmiştir. Benzer çalışmalarda, (Abdullah ve ark. 2020; Sumardi ve ark. 2022) yapmış olduğu çalışmada da görüldüğü gibi tokluk değerinin arttığını ve daha fazla enerji absorbe ettiği gözlemlenmektedir.

Çelik halat ile güçlendirme yapılmayan 0N ve 0F numuneleri kıyaslandığında %35 yük artışı ve %247 deplasman artışı elde edilirken toklukta %388 artış elde edilmiştir.



Şekil 4.11 : Tüm numunelerin yük-deplasman değişimi

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tüm numuneler incelendiğinde maksimum yükü 2N numunesinde elde edilirken maksimum deplasmanı ise 3F numunesinde elde edilmiştir. Tokluğa bakıldığında ise 2F numunesinde maksimum tokluk değeri elde edilmiştir. Yük-deplasman grafikleri incelendiğinde normal numunelerin, CFRP ile güçlendirilmiş numunelere kıyasla ani yaşanan yük düşüşleri ile daha gevrek davrandığı gözlemlenmektedir. CFRP ile güçlendirilmiş numunelerde daha sünek davranış sergilenmiştir. Tokluklar da incelendiğinde CFRP ile güçlendirilmiş numuneler normal numunelere göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Maksimum verimliliği sağlayan güçlendirme yöntemi incelendiğinde ise referans normal lamine ahşaba (0N) göre CFRP ve 2 numaralı çelik halat ile güçlendirilmiş numune(2F), en üstün özellik sergilemiştir. 0N ile 2F numune değerleri kıyaslandığında yükte %146, deplasmanda %297 ve toklukta %1666 artış elde edilmiştir.

CFRP'nin etkisi incelendiğinde lamine ahşap kirişe daha sünek davranmasını sağlamıştır. Bu etki, enerji yutma kapasitesi olan tokluk sonuçları incelendiğinde açık bir şekilde gözlenmiştir.

Çelik halat güçlendirme yöntemleri N ve F numuneleri için de incelendiğinde 2 numaralı güçlendirme yöntemi yük, deplasman ve tokluk değerlerinde diğer çelik halat güçlendirme yöntemlerine göre çok etkili olduğu tespit edilmiştir.

Karbon fiber kullanımı lamina ahşap kiriş elemanının sünek davranış sergilemesini önemli katkı sağlamıştır. Çelik halat kullanım varyasyonunda ise elemana etki eden yükün konumundan zıt yönde etki edecek şekilde elemanın yerleştirilmesi en büyük katkı sağlamıştır.

Bu çalışmanın devamında kullanılan çelik halatların zamanla ve hava koşulları etkisinde gevşeme etkileri göz önüne alınarak çalışma genişletilebilir.

Kullanılan çelik elemanlar ahşap numuneye zarar vermemesi adına bulonlar kullanarak sıkıştırma yöntemi ile sabitlenmiştir. Ancak çelik elemanlar ahşap numune delinerek sabitlendiğinde ahşabın zayıfladığı noktalarda yük birikimleri oluşarak gösterilen davranış değişebileceği öngörülmektedir. Bu bölgelerde yüzeylere CFRP eklenerek güçlendirildiği takdirde ahşapta oluşabilecek zayıflama giderilebilir.

Kullanılan çelik halat yapısı gereği standart halatlara nazaran yük altında dönerek açılma eğilimi göstermemektedir. Bu çalışma standart çelik halatlarla uygulandığında

halatların gösterebileceği farklı davranışlar deney sonuçlarını etkileyebileceği öngörülmektedir.



## Kaynaklar

**A. Dias, J. Skinner, K. Crews, T. Tannert**, Timber-concrete-composites increasing the use of timber in construction, *Eur. J. Wood Wood Prod.*, 74 (3) (2016), pp. 443-451, 10.1007/s00107-015-0975-0

**A. Falk**, Architectural Aspects of Massive Timber: Structural Form and Systems, Lulea University of Technology (2005), <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:999695/FULLTEXT01.pdf>, Accessed 12th Feb 2019

**A.Asiz, I. Smith**, Demands placed on steel frameworks of tall buildings having reinforced concrete or massive wood horizontal slabs, *StructEngInt*, 19 (4) (2009), pp. 395-403

**Abdulla, A.I., Mahmoud, R.T., Khazaal, A.S. 2020**. Toughness of timber beams strengthened with jute fibers. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 27(3): 94-112

**B. Kasal, M. Drdácý, I. Jirovsky**, Semi-destructive methods for evaluation of timber structures. Structural studies, repairs and maintenance of heritage architecture VIIIC.A. Brebia (Ed.), *Advances in Architecture*, WIT Press, Southampton (2003), pp. 835-842

**Bilici, S. (2006)**. Ahşap konut üretim sistemleri: Almanya örneği. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

**Borrega, M., Kärenlampi, P.P. 2008**. Mechanical behavior of heat-treated spruce (*Picea abies*) wood at constant moisture content and ambient humidity. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(1): 63-69.

**Bulleit, W. M., Sandberg, L. B. ve Woods, G. J. (1989)**. Steel-reinforced glued laminated timber. *Journal of Structural Engineering*, 115(2), 433-444

**C.-L. Huang, H. Lindstrom, R. Nakada, J. Ralston**, Cell wall structure and wood properties determined by acoustics—a selective review, *Holz als Roh- und Werkst*, 61 (2003), pp. 321-335

**C.L. Todoroki, M. Rönnqvist**, Combined primary and secondary log breakdown optimization, *Journal of the Operational Research Society*, 50 (11) (1999), pp. 219-229

Centauroproducts. Richmond Olympic Oval. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.centauroproducts.com%2>

Fimages%2Fgallery---richmond-olympic-oval%2Fzf-8779-07262-1- 005.jpg&date=2015-10-14, Son Eriřim Tarihi: 14.10.2015

**Corradi, M., Mouli Vemury, C., Edmondson, V., Poologanathan, K. ve Nagaratnam, B. (2021).** Local FRP reinforcement of existing timber beams. *Composite Structures*, 258, 113363.

**Çağlayan, E. S. (2020).** Ahşap yapılar ve Türkiye’de inşaat mühendislerinin / ağaç işleri endüstri mühendislerinin çok katlı ahşap yapılara yönelik görüşleri. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara

**D. Dominguez-Santos, D. Mora-Melia, G. Pincheira-Orellana, P. Ballesteros-Pérez, C. Retamal-Bravo,** Mechanical properties and seismic performance of wood-concrete composite blocks for building construction, *Materials*, 12 (2019), 10.3390/ma12091500

**D. Maier,** Building Materials Made of Wood Waste a Solution to Achieve the Sustainable Development Goals, *Materials* 14(24) (v). Available at: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000737167600001>.

**Dröge, G. ve Dröge, T. (2003).** Schäden an Holztragwerken. Stuttgart : Fraunhofer IRB-Verlag.

**Duman, N. (1964).** Tutkallı Ahşap Yapılar, İTÜ.

**E.A. Nurdiah,** The potential of bamboo as building material in organic shaped buildings, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, 216 (2016), pp. 30-38

**F. Asdrubali, F. D'Alessandro, S. Schiavoni,** A review of unconventional sustainable building insulation materials, *Sustain. Mater. Technol*, 4 (2015), pp. 1-17

**Falk, R. H. (2009).** Wood as a sustainable building material. *Forest Products Journal*, 59(9), 6-12.

**Fragiacomo, M., Dujic, B., Sustersic, I. 2011.** Elastic and ductile design of multi-storey crosslam massive wooden buildings under seismic actions. *Engineering Structures* 33(11): 3043-3053.

**Frangi, M. Fontana, E. Hugli, R. Jübstl,** Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire, *Fire Safety Journal*, 44 (8) (2009), pp. 1078-1087

**Frühwald, E., Serrano, E., Toratti, T., Emilsson, A. ve Thelandersson, S. (2007).** Design of safe timber structures- How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?, Report TVBK-3053, 5-32. Division of Structural Engineering, Lund University.

**Gáborík, J., Gaff, M., Ruman, D., Záborský, V., Kašíčková, V. ve Sikora, A. (2016).** Adhesive as a factor affecting the properties of laminated wood. *BioResources*, 11(4), 10565-10574.

**H., Yılmaz, K. Yıldırım, M.L. Hidayetoglu, (2022),** The effect of carrier system materials used in an Olympic swimming pool on the perceptual evaluations of respondents, *Facilities*, Vol. 40, Nos 9/10, pp. 675-695.

**Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R., Volz, M. ve Winter, W. (2012).** Timber construction manual. Almanya: Walter de Gruyter.

**J. Schmid, D. Brandon, N. Werther, M. Klippel,** Thermal exposure of wood in standard fire resistance tests, *Fire Saf. J.* (2018), 10.1016/j.firesaf.2018.02.002

**Kayakıran, S. ve Kishalı, E. (2019).** Düünden bugüne tutkallı tabakalı ahşap yapı elemanların incelenmesi ve yapılarda taşıyıcı olarak kullanılması üzerine öneriler. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD)*, 4(1), 34-50.

**Kurtoğlu, A., Zorlu, A., (1979)** Yapıştırılmış Tabakalı Ağaç Malzemeler, *İ.Ü., Orman Fakültesi Dergisi*, 2(1):65-69. Hoyle, R.J. 1975. Steel-reinforced wood beam design. *Forest Product Journal*, 25(4), 1723.

**Lantos, G. (1970).** The flexural behavior of steel reinforced laminated timber beams. *Wood Science*, 2(3), 136-143.

**M. H. Ramage, Burrridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Densley-Tingley, D. (2017).** The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(1), 333-359.

**M. Valdes, G.F. Giaccu, D. Meloni, G. Concu,** Reinforcement of maritime pine cross-laminated timber panels by means of natural flax fibers, *Constr Build Mater.*, 233 (2020), Article 117741

**M.H. Ramage, H. Burrridge, M. Busse-Wicher, et al.** The wood from the trees: The use of timber in connection, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 68 (2017), pp. 333-359



**M.P. Ansell**, Hybrid wood composites-integration of wood with other engineering materials, *Wood Compos.*, 54 (2015), pp. 411-426, 10.1016/B978-1-78242-454-3.00016-0

**Martin, Z., Stith, J. and Tingley, D. (2000)**. Commercialization of FRP reinforced glulam beam technology, 1 Temmuz 2021, <https://www.yumpu.com/en/document/read/34994826/commercialization-of-frpreinforced-glulam-beam-technology>.

**MERL, A.D., 2005**, “Nachhaltigkeit, Bauwesen und Holz”, Resource Management for the Construction Sector in Urban Spaces, Yayınlanmamış doktora tezi, Viyana Teknik Üniversitesi, Viyana, ss.6-11.

**Munch, E., Launey, M. E., Alsem, D.H., Saiz, E., Tomsia, A.P., Ritchie, R.O. 2008**. Tough, bio-inspired hybrid materials. *Science* 322(5907): 1516-1520.

**Nataraja, M.C., Dhang, N. And Gupta, A.P. (1999)** Stres-strain curves for steel-fiber reinforced concrete under compression, *Cement and Concrete Composites* 21, 383-390.

**R. H. Falk**, Wood as a sustainable building material. *Forest Products Journal*, 59(9),(2009) 6-12

**Ramage, M. H., Burrridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Densley-Tingley, D. (2017)**. The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(1), 333-359.

**S. Pei, J.-W.G. van de Kuilen, M. Popovski, J.W. Berman, J.D. Dolan, J. Ricles, et al.**, Cross-Laminated Timber for seismic regions: progress and challenges for research and implementation, *J StructEng*, 142 (4) (2016), p. E2514001, 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001192

**S.; Ahmed, I. Arocho**, Mass timber building material in the U.S. construction industry: Determining the existing awareness level, construction-related challenges, and recommendations to increase its current acceptance level. *Clean. Eng. Technol.* 2020, 1.

**S.T. Akter, T.K. Bader**, Experimental assessment of failure criteria for interaction of normal stress perpendicular to the grain with rolling shear stress in clear wood, *Eur J Wood Prod* (2020), 10.1007/s00107-020-01587-w

**Sağlam, B.A. (2009)**. İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

**Saral, Ö. F. (2016).** Çelik çubuk takviyeli ahşap kirişlerin taşıyıcı performansının deneysel ve analitik yönetime incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

**Sizüçen, H. (2008).** Titrek kavak yongalarından üretilen (LSL, LVL, PSL) lamine ağaç malzemelerin direnç özelliklerinin belirlenmesi. Bilim Uzmanlığı Tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük

**Stalnaker, J. J. and Harris, E. C. (1999).** Structural Design in Wood (Second Edition). Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 11-12, 17-18, 157-159,305

**Stark, N. M., Cai, Z. and Carll, C. (2010).** Wood-Based Composite Materials, Panel Products, Glued-Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood–Nonwood Composite Materials. In R. J. Ross (Ed.), Wood handbook—Wood as an engineering material. Madison, WI: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, pp. 11-1,11-2,11-17,11-20.

**Sumardi, I., Alamsyah, E.M., Suhaya, Y., Dungani, R., Sulastiningsih, I.M., Pramestie, S.R. 2022.** Development of bamboo zephyr composite and the physical and mechanical properties. Journal of the Korean Wood Science and Technology 50(2): 134-147.

**T.Herzog, J.Natterer, R.Schweitzer,,Volz, M. ve Winter, W. (2012).** Timber construction manual. Germany, Walter de Gruyter.

**Yörür, H., Aydemir, D. ve Uysal, B. (2010).** Emprenye edilmiş ahşap malzemenin yapışma direncini etkileyen faktörler. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 12(18), 99- 106.

**Z.L. Yu, B. Qin, Z.Y. Ma, Y.C. Gao, Q.F. Guan, H.B. Yang, S.H. Yu,** Emerging bioinspired artificial woods, Adv. Mater., 33 (2021), Article e2001086

# ÖZGEÇMİŞ

**Adı-Soyadı** : Mehmet Faruk ÖZDEMİR

**Öğrenim Durumu** :

Lisans :2020, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği  
Bölümü

**Mesleki Deneyim** :

2021-2022 Malatya Battalgazi Devlet Hastanesi şanitiesinde görev aldım.  
2023 MASKİ İçmesuyu dairesinde mühendis olarak görev yapmaktayım.

## YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

**Ozdemir, M.F., Maras, M.M., Yurtseven, H.B.** (2023). Flexural Behavior of Laminated Wood Beams Strengthened with Novel Hybrid Composite Systems: An Experimental Study. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 516526.